

Autor  
Stephan Bader

••

## 202 Tropische Wirbelstürme Hurricanes – Typhoons - Cyclones

# Arbeitsbericht



**MeteoSchweiz**

**Nummer: 202**

**Autor**

Stephan Bader

## **Tropische Wirbelstürme – Hurricanes - Typhoons - Cyclones**

**© und Herausgeber: MeteoSchweiz, 2004**

**Bestelladresse:**

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)  
Ufficio federale di meteorologia e di climatologia (MeteoSuisse)  
Ufficio federale di meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera)  
Ufficio federal per meteorologia e climatologia (MeteoSvizzera)  
Federal Office of Meteorology and Climatology (MeteoSwiss)

MeteoSchweiz  
Krähbühlstrasse 58  
Postfach 514  
CH-8044 Zürich

Telefon +41 1 256 91 11  
Telefax +41 1 256 92 78  
info@meteoschweiz.ch  
www.meteoschweiz.ch

## **Zu diesem Heft**

Tropische Wirbelstürme sind nicht gerade ein übliches Thema für die meteorologischen und klimatologischen Verhältnisse in der Schweiz oder generell im deutschsprachigen Raum. Mit ihrer alljährlichen Medienpräsenz findet jedoch diese Naturgewalt und ihre Wirkungsweise auch bei uns steigendes Interesse. Entsprechend wird MeteoSchweiz immer häufiger um Informationen zu diesem Thema gebeten. Insbesondere im Zusammenhang mit Anfragen aus dem Schul- und Medienbereich ist immer wieder festzustellen, dass eine leicht lesbare Darstellung der meteorologischen und klimatologischen Aspekte tropischer Wirbelstürme durchaus von allgemeinem Interesse ist. Das vorliegende Heft ist deshalb nicht als wissenschaftlich Analyse zu verstehen. Vielmehr soll damit das Thema einem breiten Publikum ohne meteorologische und klimatologische Vorkenntnisse zugänglich gemacht werden.

## Zusammenfassung

Tropische Wirbelstürme sind extreme thermische Tiefdruckgebiete. Sie entstehen ausschliesslich über tropischen Meeren ab etwa 5° nördlicher bzw. südlicher Breite. Im Bereich des Äquators treten sie nicht auf, da hier infolge der zu geringen Corioliskraft keine Wirbelstruktur entstehen kann. Das bedeutet, dass die zusammenströmenden Luftmassen direkt Richtung Tiefdruckzentrum fließen, dort den Unterdruck schnell ausgleichen und dadurch das Tief abschwächen. Tropische Wirbelstürme werden im Atlantik und im Ostpazifik Hurrikane (Hurricanes), im zentralen und westlichen Pazifik Taifune (Typhoons) und im Raum In-dien-Australien Zyklone (Cyclones) genannt.

Voraussetzung für die Entstehung tropischer Wirbelstürme ist eine starke Strömungsdivergenz (Auseinanderfließen der Luftmassen) in einer Höhe von etwa 15 bis 18 Kilometer. Dieses Wegströmen der Luft in grosser Höhe sorgt für eine geringere Luftmasse in diesem Bereich der Atmosphäre, wodurch auf Meeresebene tiefer Druck entsteht.

In den Tropen ist vor allem im Bereich der Innertropischen Konvergenzzone (ITC, Zone der grössten Erwärmung, Zusammenströmen der nördlichen und südlichen Passatwinde) eine starke Höhendivergenz vorhanden. Dementsprechend lässt sich auch häufig beobachten, dass Wirbelstürme aus grossen Gewittern oder Gewitteransammlungen der ITC entstehen. Als zweite wichtige Voraussetzung muss mindestens 27°C warmes Meerwasser vorliegen. Nur auf diese Weise kann genügend Wasserdampf bereitgestellt werden. Das ist auch der Grund, warum vor den Westküsten Südamerikas und Afrikas keine Wirbelstürme entstehen. Die hier aufdriftenden kalten antarktischen Meeresströmungen verhindern eine grossflächige Erwärmung des Meerwassers bis auf die notwendige Temperatur von 27°C.

Mit Ausnahme der durch die Monsunströmung gesteuerten Wirbelstürme in der Region von Indien ziehen tropische Wirbelstürme entlang der äquatorwärtigen Seite der subtropischen Hochdruckgebiete vorerst Richtung Westen, um daraufhin Richtung Norden bzw. Süden abzuschwenken. Sobald sie auf diesem Weg in aussertropische, kühlere Gebiete gelangen oder auf Festland laufen, verlieren sie schnell an Energie, da der Wasserdampfnachschub rasch nachlässt.

## Inhalt

Zu diesem Heft . . . . .	3
Zusammenfassung . . . . .	4
Am Anfang ist Hitze und Wasser . . . . .	7
Vom Gewitter zum Wirbelsturm . . . . .	9
Vom Passatwind getrieben . . . . .	12
Ein Ende mit Schrecken . . . . .	12
Taifune im nördlichen West-Pazifik . . . . .	15
Hurrikane im Ost-Pazifik . . . . .	16
Hurrikane im Atlantik . . . . .	17
Zyklone im Indischen Ozean . . . . .	18
Zyklone im afrikanisch-australischen Raum . . . . .	20
Sturmfreie Zonen . . . . .	22
Klassierte Wirbelstürme . . . . .	22
Die Namen der Wirbelstürme . . . . .	25
Wirbelstürme im Laufe der Zeit . . . . .	27
Zwei Wirbelsturm-Katastrophen im Spiegel der Presse . . . . .	31
Verwendete Literatur . . . . .	36



*Der atlantische Hurrikan Floyd fegt am 14. September 1999 mit Spitzengeschwindigkeiten von 250 km/h über die Inseln der Bahamas hinweg und nimmt Kurs auf die Ostküste der USA. Die amerikanische Raumfahrtbehörde (NASA) evakuierte fast alle der 12500 Beschäftigten des Raumfahrtzentrums Cape Canaveral in Florida vor dem herannahenden tropischen Wirbelsturm. Es war die erste vollständige Räumung in der Geschichte des Raumfahrtzentrums. Der Sturm drehte dann allerdings nach Norden ab und ging an der Küste North Carolinas an Land. Dort verursachte er schwere Schäden durch Überschwemmungen.*

*Bild: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), USA.*

### **Am Anfang ist Hitze und Wasser**

Was zunächst als gewöhnliches Gewitter in die feuchtheisse tropische Atmosphäre empor steigt, kann Tage später tausende Kilometer weiter westlich als entfesselter tropischer Wirbelsturm über Land und Leute hereinbrechen. Ob sie als Hurrikane im Atlantik und Ostpazifik, als Taifune im Westpazifik oder als Zyklone im indisch-australischen Raum wüten, das Rezept hinter dieser ungebändigten Urgewalt ist immer dasselbe: Es heisst Sonne und Wasserdampf.

Der Entstehungsherd tropischer Wirbelstürme ist typischerweise die Region der so genannten innertropischen Konvergenzzone, kurz ITC genannt. Es ist jene Zone, welche von der tropischen Sonne am stärksten aufgeheizt wird. Die ITC zieht sich als mehr oder weniger zusammenhängendes Band meist in Äquatornähe rund um den Erdball. Durch die starke sommerliche Aufheizung der Kontinente kann sie sich aber auch recht weit vom Äquator entfernen. An der ITC spielen sich diejenigen Prozesse ab, welche als eigentlicher Motor der atmosphärischen Zirkulation bezeichnet werden können. Durch die Energie der starken Sonneneinstrahlung werden hier grosse Mengen von Wasser verdunstet und als unsichtbarer Wasserdampf in die Atmosphäre befördert. Heisse, wasserdampfhaltige Luft ist sehr leicht und steigt deshalb schnell in grosse Höhen. Je weiter sich die Luft von der Erdoberfläche entfernt, um so stärker dehnt sie sich infolge des abnehmenden Luftdrucks aus. Die Energie, welche die aufsteigende Luft für dieses Ausdehnen benötigt, schöpft sie aus der mitgebrachten Wärme,

und ihre Temperatur sinkt. Als Folge dieser Abkühlung beginnt ab einer bestimmten Höhe der gasförmige Wasserdampf wieder zu Wassertropfen zu kondensieren, und es entstehen Gewitterwolken, auch Gewitterzellen genannt. Da bei der Kondensation von Wasser jene Wärme wieder frei wird, welche für die Verdunstung des Wassers aufgewendet wurde, gewinnen die Gewitterzellen grosse Mengen an Wärme zurück, was das weitere Aufsteigen der Luft beschleunigt. Gewitterzellen vermögen deshalb in sehr grosse Höhen vorzustossen. In den Tropen wachsen sie zu riesigen Gebilden heran und erreichen oft Höhen von 18'000 Meter. Hier stossen sie an eine natürliche Grenze: In dieser Höhe nimmt die Temperatur der Atmosphäre wieder zu. Die Wärme stammt aus dem chemischen Prozess der Ozonbildung. Da die warme Luft der Gewitterzelle in der nun ebenso warmen Atmosphäre keinen Auftrieb mehr hat, weicht die Gewitterluft zur Seite aus und bildet einen Schirm. In diesem Zustand ist die Gewitterzelle voll entwickelt. Fast täglich gehen deshalb über der ITC heftige Gewitter mit starken Gewitterregen nieder.

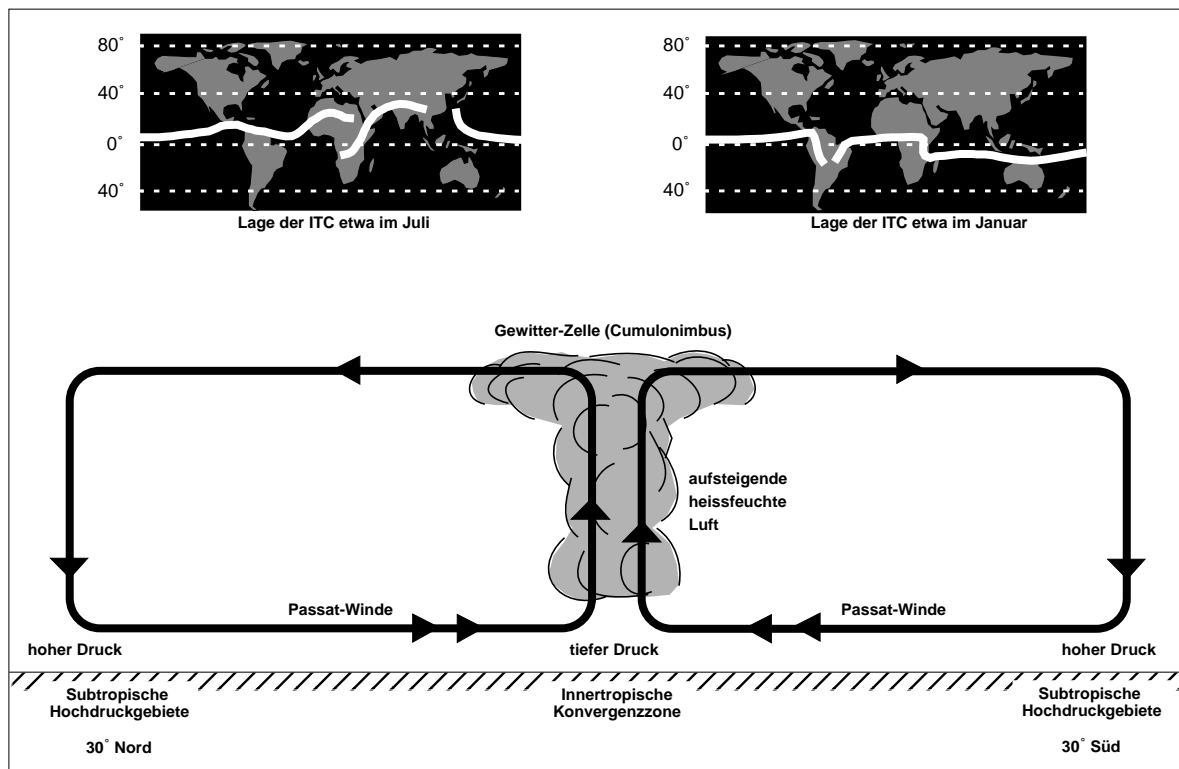


Abbildung 1: Die innertropische Zirkulation der Atmosphäre als Ursprung tropischer Wirbelstürme. Oben: Lage der ITC im Juli und im Januar. Unten: Querschnitt durch die Zirkulation der Atmosphäre im Bereich der ITC.



Der über der ITC aufsteigende Wasserdampf stammt nicht nur aus der Region der ITC. Er wird zu einem rechten Teil mit den Passatwinden herangeführt, welche aus nördlicher und südlicher Richtung zur ITC hin wehen. Deshalb auch der Name Konvergenzzone. Er bedeutet nichts anderes, als dass hier die Passatwinde konvergieren, also zusammenfließen. Die Passatwinde sind die Reaktion auf die grosse Hitze an der ITC: Da Luft mit zunehmender Wärme immer leichter wird, übt die stark erwärmte Atmosphäre im Bereich der ITC am Boden einen geringeren Druck aus als nördlich und südlich davon. Als Folge dieses Druckunterschieds - tiefer Druck an der ITC, höherer Druck nördlich und südlich davon - entsteht eine Ausgleichsströmung in Richtung ITC, hin zum Zentrum des Unterdrucks. Das ist das Grundprinzip aller Luftströmungen in der Atmosphäre: Ein Gebiet mit tiefem Druck saugt sozusagen Luft aus der näheren und weiteren Umgebung an.

### **Vom Gewitter zum Wirbelsturm**

Die an der ITC entstandenen Gewitterzellen sind eine der Voraussetzungen für die spätere Entstehung eines Wirbelsturmes. Eine weitere Voraussetzung ist eine genügend grosse Entfernung vom Äquator, damit daraus überhaupt ein Wirbel entstehen kann. Der Grund hierfür ist die sogenannte Coriolis-Kraft, welche ihre Ursache in der Erddrehung hat. Durch die Corioliskraft beginnt die in ein Tiefdruckgebiet einfließende Luft auf der Nordhalbkugel gegen den Uhrzeigersinn um das Tiefzentrum zu zirkulieren. Auf der Südhalbkugel ist es gerade umgekehrt. Die Corioliskraft vermag jedoch ihre Wirkung erst nördlich oder südlich des 5. Breitengrades genügend zu entfalten. In der Nähe des Äquators ist sie wirkungslos. Eine ganz wesentliche Voraussetzung für die Wirbelsturmentstehung ist schliesslich eine grosse Meeresfläche mit einer Wassertemperatur von 27 °C und höher. Nur unter diesen Bedingungen gelangt genügend Wasserdampf in die Atmosphäre, um die Weiterentwicklung vom tropischen Gewittertief zum tropischen Sturmtief, dem Wirbelsturm, zu ermöglichen.

Ab etwa dem Monat August ist die Region von Westafrika eine der Geburtsstätten von Wirbelstürmen. Praktisch jedes Jahr lässt sich mit Hilfe von Satellitenbildern beobachten, wie die über dem feuchtheissen subtropischen Kontinent entstandenen riesigen Gewitterzellen vom Passatwind in westlicher Richtung auf den Atlantik hinaus getrieben werden. Häufig scharen sie sich dabei mehrere Zellen zusammen und

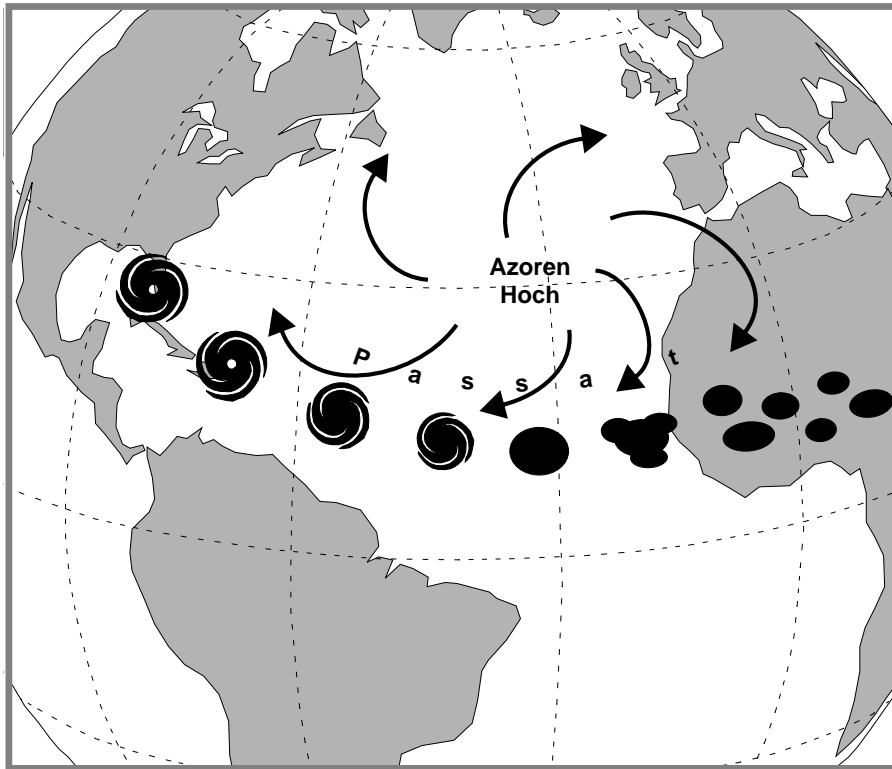


Abbildung 2: Gewitterzellen aus Westafrika formieren sich über dem Atlantik zu einem tropischen Wirbelsturm. Dieser wird vom Passatwind Richtung Westen über den Atlantik zum amerikanischen Kontinent getrieben.

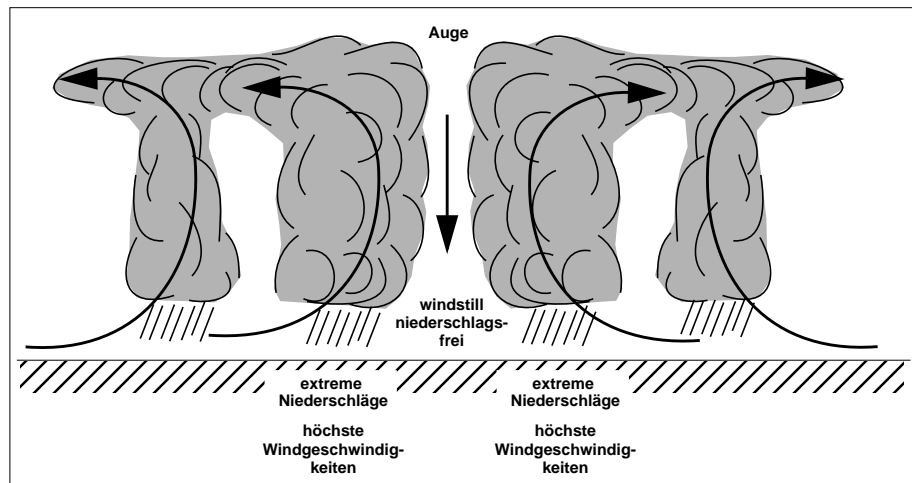
bilden einen so genannten Gewitter-Cluster. Einmal über der warmen Wasserfläche, verstärkt sich die Zufuhr an Wasserdampf massiv. Die warmfeuchten, leichten Luftmassen werden mit grosser Vertikalgeschwindigkeit in die Höhe befördert. Der dort kondensierende Wasserdampf gibt enorme Wärmemengen frei, was die Luft gleichsam weiter aufwärts schießen lässt. Der Sog am Boden wird dadurch immer stärker, und als Folge davon wird die auf das Tiefdruckzentrum zuströmende Luft beschleunigt. Die über die subtropische Meeresfläche heranströmenden Luftmassen bringen ihrerseits enorme Wasserdampfmen gen mit, wodurch die Aufwärtsbewegung im Innern des Gewitter-Clusters fortwährend verstärkt wird. In kurzer Zeit entwickelt sich daraus ein tropisches Sturmtief.

Mit zunehmender Sturmstärke nimmt schliesslich der werdende Wirbelsturm seine typische Gestalt an. Die mit immer höherer Geschwindigkeit um das Sturmzentrum zirkulierenden Luftmassen formen Wolkenmauern, welche sich spiralförmig um das Sturmzentrum anordnen. Im Zentrum des Wirbelsturms bildet sich schliesslich das seltsam anmutende so genannte Auge. Es ist eine kreisförmige Zone mit einem Durchmesser von 30 bis 50 Kilometer und absinkender Luft. Absinken bedeutet, dass der Luftdruck zunimmt, wodurch sich die Luft

### Unsicherheiten

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Wissenschaft heute noch keine Klarheit über die detaillierten Prozessabläufe hat, welche schliesslich zur Entstehung eines tropischen Wirbelsturmes führen. Die hier gegebene qualitative Beschreibung ist also lediglich ein relativ grobes Bild im Vergleich zu den tatsächlich sehr komplexen Verhältnissen.

Abbildung 3: Idealisierter Querschnitt durch einen voll entwickelten tropischen Wirbelsturm. Die schwarzen Pfeile zeigen die Luftbewegungen.



## Tornados

Oft werden unter dem Begriff „Wirbelsturm“ Tornados und tropische Wirbelstürme verwechselt. Tornados sind extrem heftige, aber sehr kleinräumige Wirbelstürme. Sie entstehen typischerweise im Zusammenhang mit starken Gewittern und sind erkennbar an ihren charakteristischen, rotierenden Wolkenschläuchen, welche sich zwischen der Unterseite der Gewitterwolke und dem Erdboden bilden. Der Durchmesser des Wolkenschlauchs liegt meist bei mehreren 10 Metern, manchmal bis zu einigen Kilometern. Die typische Länge des Schlauchs beträgt etwa 900 m. Tornados entstehen vorwiegend über Land.

erwärmt. Diese Wärme vermag die Wassertropfen der Wolken wieder in unsichtbaren Wasserdampf zu verwandeln (Verdunstung). Die Wolken lösen sich im Auge des Wirbelsturms deshalb teilweise oder vollständig auf. Am Boden des Auges ist es weitgehend windstill und niederschlagsfrei. Hier herrscht eine seltsame, gespenstische Ruhe. Denn im Bereich der Wolkenwand, welche das Auge unmittelbar umgibt, wütet der Sturm mit seiner grössten Kraft. Hier werden die höchsten Windgeschwindigkeiten erreicht und es fallen die extremsten Niederschlagsmengen. Augenzeugen berichten, dass im Innern des Auges dieses wilde Tosen aus der Ferne oft gut zu vernehmen ist, während man über sich den blauen Himmel sieht und keine Luftbewegung verspürt. Aber man weiss genau, dass in kurzer Zeit der Sturm auch hier wieder mit seiner ganzen Kraft losbrechen wird.

Tropische Wirbelstürme erreichen im Durchschnitt einen Durchmesser von 600 bis 800 Kilometer. Vor allem im pazifischen Ozean entwickeln sich hin und wieder aber auch Superstürme mit einem Durchmesser von 1500 Kilometern. Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten im Kerngebiet mit einem Durchmesser von 200 Kilometer auf. Die maximalen Windgeschwindigkeiten während den extremsten Böen können hier 300 km/h deutlich überschreiten. Die über längere Zeit gemittelte Windgeschwindigkeit liegt nicht selten bei 200 km/h und mehr. Zum Vergleich: Während dem für mitteleuropäische Verhältnisse extremen Sturm Lothar, welcher am 26. Dezember 1999 vor allem in Frankreich, Süddeutschland und in der Schweiz Schäden in Milliardenhöhe verursachte, wurde im Flachland der Schweiz eine maximale Böenspitze von 181 km/h gemessen. Die mittleren Windgeschwindigkeiten (10-Minuten-Mittel) lagen bei 80 km/h.

## Vom Passatwind getrieben

Tropische Wirbelstürme können über Tausende von Kilometern westwärts wandern. Dabei legen sie pro Tag etwa 400 bis 500 Kilometer zurück, was einer Geschwindigkeit von 16 bis 20 km/h entspricht. Getrieben werden sie von den Passatwinden. Die Passate sind nichts anderes als die äquatorseitige Strömung aus den subtropischen Hochdruckgebieten. Die subtropischen Hochdruckgebiete sind feste Bestandteile der innertropischen Zirkulation. Sie sind das ganze Jahr über in demselben Grossraum mehr oder weniger kräftig ausgebildet. Eines dieser Subtrophenhochs ist das in Europa gut bekannte so genannte Azorenhoch über dem nördlichen Atlantik. Es liegt mit seinem Kerngebiet immer in etwa über den Azoreninseln. Das Azorenhoch ist die Ursache des von Afrika nach Mittelamerika wehenden Nordostpassats. Nordost deshalb, weil infolge der Corioliskraft die aus einem Hochdruckgebiet herausströmenden Luftmassen auf der Nordhemisphäre im Uhrzeigersinn, auf der Südhemisphäre im Gegenuhrzeigersinn um das Zentrum des Hochs zu zirkulieren beginnen. So wehen die Passate immer aus östlicher Richtung: Auf der Nordhemisphäre sind es Nordost-Winde (Abbildung 2), auf der Südhemisphäre Südost-Winde.

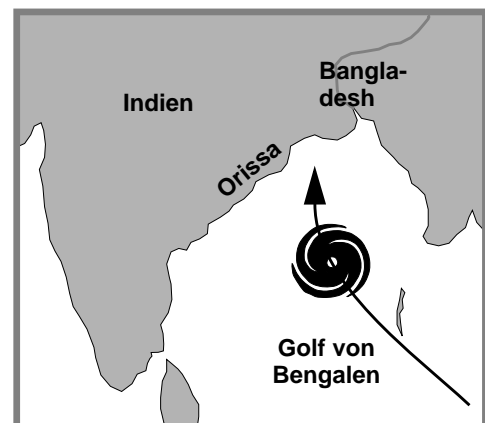
Eingebettet in den Nordostpassat wandern die atlantischen Wirbelstürme grundsätzlich Richtung Golf von Mexiko. Reicht das Azorenhoch nicht allzu weit nach Westen, biegen sie frühzeitig mit der Hochdruckzirkulation nach Norden ab. Zielgebiet ist dann häufig die amerikanische Ostküste, oder der Wirbelsturm dreht in den nördlichen Atlantik ab ohne Festland zu berühren. Vom Entstehen der Gewitter-Cluster über Afrika bis zum Eintreffen des Wirbelsturms auf der amerikanischen Seite des Atlantiks verstreichen etwa 5 bis 7 Tage.

## Ein Ende mit Schrecken

Trifft ein Wirbelsturm auf Festland, schlägt er oft gleich dreifach zu. Da sind zunächst einmal die extremen Windstärken, welche Dörfer, Städte, Häfen und Flughäfen, aber auch Wälder und Felder stark in Mitleidenschaft ziehen. Bekannte Bilder sind bis auf die Grundmauern zerstörte Gebäude, deren Dach vom Sturm weggerissen wurde, wodurch sie den Sturmwinden ungeschützt ausgesetzt waren. In den Häfen werden kleinere Schiffe und Boote regelmässig richtiggehend zu einem Haufen zusammenschoben und vollständig ineinander verkeilt.

Hin und wieder werden auch Boote vom Sturm aus dem Wasser gerissen und auf die Küstenstrassen geworfen. Auf Flughäfen sind schon tonnenschwere Flugzeuge von ihrem Standplatz in die Luft und auf die Flughafengebäude geschleudert worden.

Die extremen Windstärken bergen aber für Küstengebiete eine noch weit grössere Gefahr: Sie türmen in der Bewegungsrichtung des Wirbelsturms mitunter eine riesige Flutwelle auf. Ein durchschnittlicher atlantischer Wirbelsturm erzeugt Wellen mit Höhen von 3 bis 4 Metern. In extremen Fällen werden die Wellen aber auch gegen 6 Meter hoch. Diese Flutwellen gefährden ganz speziell flache Küstengebiete, da sie hier weit ins Landesinnere vordringen und grosse Gebiete unter Wasser setzen können. Ende Oktober 1999 hat eine solche Sturmflut die Region Orissa an der Ostküste Indiens verwüstet und 15'000 Menschen in den Tod gerissen. Mitte November 1970 setzte nur wenig nördlich davon ein Wirbelsturm mit seiner Flutwelle das Ganges-Delta in Bangladesh unter Wasser. 200'000 bis 500'000 Menschenleben waren damals zu beklagen. Es war die todesopferreichste Naturkatastrophe in der Zeit von 1970 bis 2001.

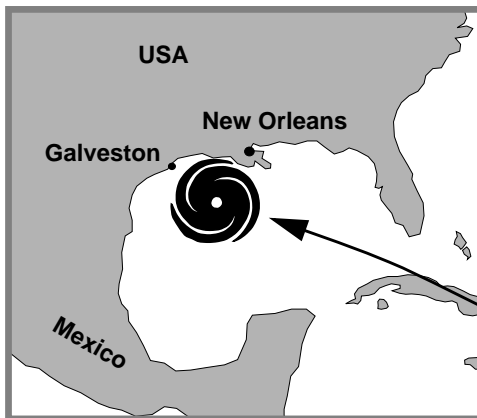


*Abbildung 4: Der Golf von Bengalen mit der Wirbelsturm-Gefahr an den Küsten von Indien und Bangladesh.*

Die Küstengebiete im Osten Indiens bis ins Ganges-Delta werden immer wieder von derartigen Sturmfluten heimgesucht: Im April 1991 kamen dabei in Bangladesh 138'000 Menschen ums Leben. Ende Mai 1985 haben in Bangladesh und Ende November 1977 in Indien 10'000 Menschen ihr Leben dadurch verloren.

Auch an den amerikanischen Küsten sind derartige Flutkatastrophen nicht auszuschliessen. Davon zeugt die Geschichte der US-Stadt Galveston. Sie liegt auf einer dem Festland vorgelagerten Inselkette an der Golfküste. Am 8. September im Jahre 1900 wurde die Stadt durch

einen Wirbelsturm und dessen Flutwelle vollständig dem Erdboden gleichgemacht. Die Naturkatastrophe forderte etwa 8000 bis 12'000 Menschenleben. Man schätzt, dass ein Wirbelsturm, welcher das Tiefland des Mississippi-Delta mit voller Kraft treffen würde, die 50 km im Landesinnere liegende amerikanische Grossstadt New Orleans durch eine Flutwelle von bis zu 6 Meter unter Wasser setzen könnte.



*Abbildung 5: Am 8. September 1900 vernichtete ein Wirbelsturm die amerikanische Küstenstadt Galveston. Der Hurrikan entstand in der zweiten Auguhälfte 1900 im Atlantik und überquerte die karibischen Inseln, bevor er an der texanischen Küste an Land ging.*

Neben der Flut aus dem Meer ist die Flut aus den Wolken eine der oft unterschätzten Gefahren, die ein tropischer Wirbelsturm mit sich bringt. Aus einem durchschnittlicher Wirbelsturm ergiessen sich bis zu 300 mm Regen in wenigen Stunden (im Mittelland der Schweiz etwa die durchschnittliche Menge von drei Monaten). Halten diese Regenmengen über mehrere Tage an, mündet dies in eine Katastrophe riesigen Ausmasses. Genau dies ereignete sich Ende Oktober Anfang November 1998, als sich der tropische Wirbelsturm Mitch über Zentralamerika sozusagen festkrallte. Über dem Golf von Mexico erreichte der Sturm enorme Windgeschwindigkeiten und versetzte damit die Küstenregionen in Angst und Schrecken. Einmal auf dem Festland, verlor er seinen inneren Zusammenhalt und zerfiel in mehrere eng beieinander liegende tropische Tiefdruckgebiete. Der Wind war damit kein Problem mehr, um so mehr aber die Regenfluten. Tagelang ergossen sie sich aus den Überresten des Wirbelsturms vor allem über die zentralamerikanischen Staaten Honduras und El Salvador. In der gebirgigen Gegend verwandelten sich die Flüsse schnell in tobende Fluten, alles mit sich reissend, was sich ihnen in den Weg stellte. An den Talflanken verloren die aufgeweichten Hänge ihren Halt und rutschten grossflächig zu Tal, und in den Seitentälern wälzten sich Schlammströme mit hoher Geschwindigkeit talabwärts. Die Region versank im Chaos. Über

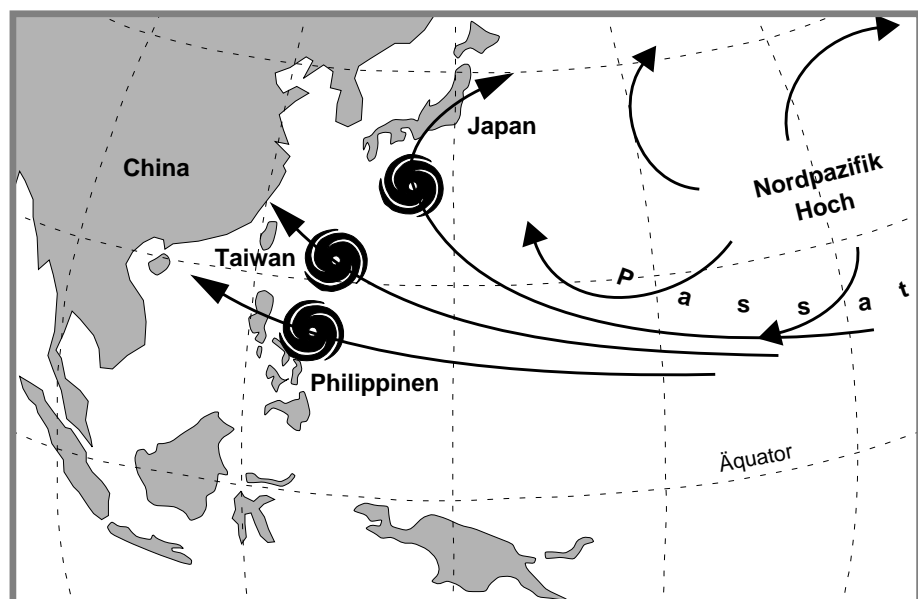
10'000 Menschen verloren während dieser Naturkatastrophe ihr Leben. Auf der bis ins Jahr 1492 zurückreichenden Liste der opferreichsten atlantischen Wirbelstürme steht der Wirbelsturm von Galveston an zweiter, Mitch an dritter Stelle.

Bewegt sich ein tropischer Wirbelsturm auf das Festland, ist sein Ende absehbar. Sobald das Kerngebiet die Wasseroberfläche verlassen hat, fehlt dem Sturm die Hauptenergiequelle, der Wasserdampf. Der Wirbelsturm beginnt in sich zu einem normalen Tiefdruckgebiet abzuschwächen. Das gleiche geschieht, wenn ein Wirbelsturm sich in kühle Meeresregionen hinein bewegt. So wurde schon mancher atlantische Wirbelsturm im nördlichen Atlantik von der Westwindzirkulation erfasst und als gewöhnliches Tief nach Europa getrieben.

## Taifune im Nordwest-Pazifik

Im Nordwest-Pazifik entstehen mit einem Jahresdurchschnitt von 26 nicht nur am meisten Wirbelstürme, es sind oft auch die grössten und jene mit den höchsten Windgeschwindigkeiten. Entstehungsort ist der zentrale Pazifik. Als Taifune, oder wenn sie überdurchschnittliche Windgeschwindigkeiten annehmen als Supertaifune, bewegen sie sich westwärts Richtung Philippinen, Taiwan und China, oder dann in einem weiten Bogen Richtung Japan. Einer der extremsten bezüglich Niederschlag war Supertaifun Herb. Vom 31. Juli auf den 1. August

Abbildung 6: Die Wirbelsturm Region im West-Pazifik. Jährlich entstehen hier zwischen Juni und Dezember im Durchschnitt etwa 26 Taifune.



1996 streifte sein Kerngebiet den Norden Taiwans und liess es dort in-  
nert 24 Stunden kaum vorstellbare 2000 mm regnen. Für einzelne der  
betroffenen Regionen ist das mehr als die normale Jahressumme an  
Niederschlag.

## Hurrikane im Ost-Pazifik

Auf der anderen Seite des Pazifiks, zwischen Mexico und Hawaii,  
herrscht zwar oft auch eine rege Wirbelsturmätigkeit. Nur selten wer-  
den die Wirbelstürme aber gefährlich, da sie sich meist auf dem Meer  
austoben. Das Entstehungsgebiet ist die pazifische Küstenregion Mit-  
telamerikas. Die Wirbelstürme, hier wie im Atlantik Hurrikane genannt,  
werden aber nicht wie im klassischen Fall von den Passaten westwärts  
getrieben. Diese Region des Pazifiks ist nämlich eine Zone mit ausge-  
sprochen schwachen atmosphärischen Strömungen, eine so genannte  
Kalmes-Zone. Der Passat setzt erst viel weiter draussen auf dem Pa-  
zifik ein. Aus diesem Grunde wandern die entstandenen Wirbelstürme  
nur langsam Richtung Nordwesten, wo sie sich schliesslich in den küh-  
leren Gewässern auflösen. Hin und wieder nimmt aber ein pazifischer  
Hurrikan Kurs auf die mexikanische Küste. Im Jahr 1997 trafen gleich  
zwei Hurrikane mit nur wenigen Tagen Abstand die mexikanische Kü-  
stenstadt Acapulco und richteten grosse Verwüstungen an. Hurrikan  
Nora brach Ende September über die Stadt herein, und Anfang Okto-  
ber folgte bereits Hurrikan Pauline.

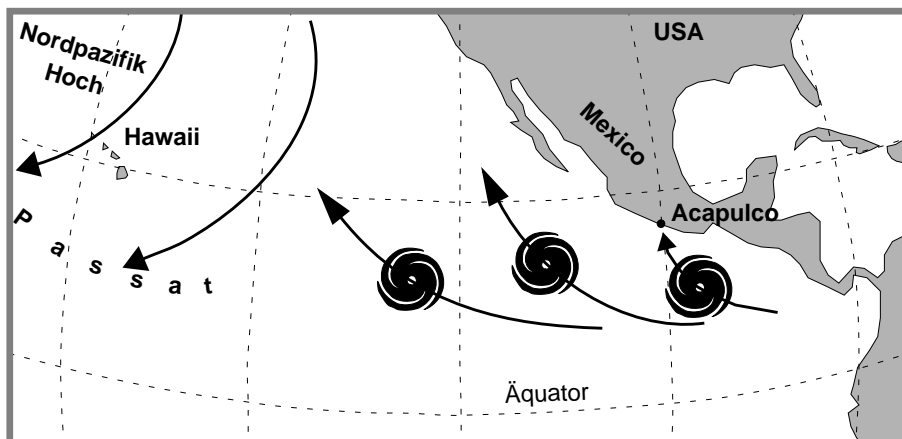


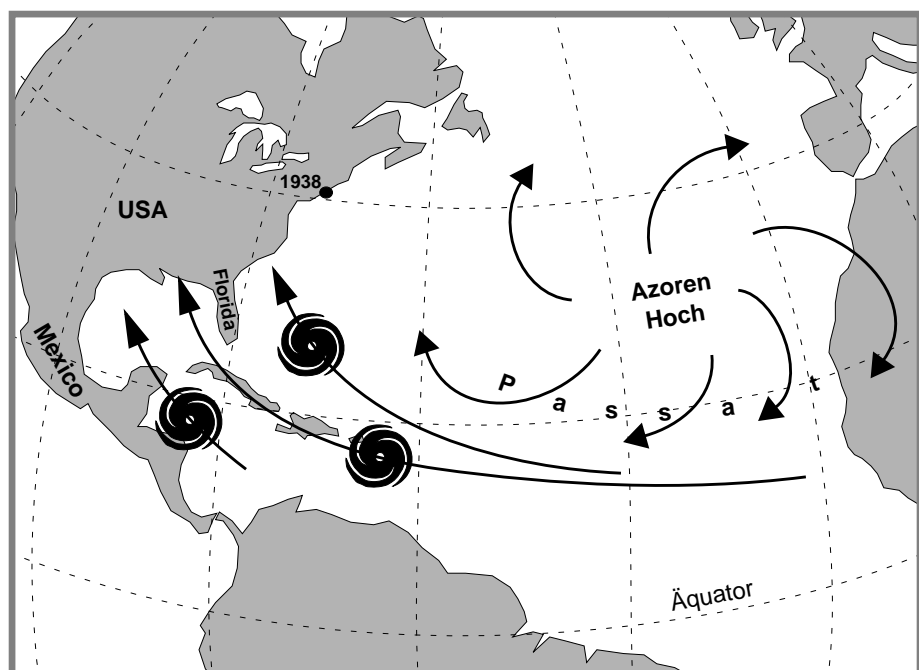
Abbildung 7: Die Wirbel-  
sturm Region im Ost-Pa-  
zifik. Jährlich entstehen  
hier zwischen Juni und  
Oktober im Durchschnitt  
etwa 17 Hurrikane.



## Hurrikane im Atlantik

Die wohl bekannteste und zugleich am besten untersuchte Wirbelsturm-Region ist der südliche Nordatlantik und der westlich daran angrenzende Golf von Mexico. Die vom Atlantik her nach Westen wandernden Hurrikane steuern einerseits oft Richtung karibische Inseln (Puerto Rico, Dominikanische Republik/Haiti, Kuba etc.), und andererseits an die Golf- sowie die Atlantikküste der USA. Vereinzelt können Hurrikane auch ungewöhnlich weit nach Norden getrieben werden und dort zur unerwarteten Bedrohung werden. Mitte September 1938 zog ein Hurrikan wenig nördlich der karibischen Inseln vorbei und bewegte sich dann parallel zur Atlantikküste der USA Richtung Norden. Man erwartete, dass er schliesslich auf das offene Meer abdrehen würde, und niemand dachte an eine ernsthafte Gefahr. Am 21. September 1938 nahm der Hurrikan jedoch unerwartet Kurs auf die Küste und ging am Nachmittag in der Region New Jersey, nur wenig südlich von New York, an Land (Abbildung 8). Gemäss den damaligen Berichten trieb er eine mehrere Meter hohe Flutwelle vor sich her, welche zusammen mit den hohen Windgeschwindigkeiten (bis 200 km/h) in der dichtbesiedelten Küstenregion riesige Verwüstungen hinterliess. 564 Menschen kamen ums Leben und 8900 Häuser wurden zerstört. Neben tausenden von zerstörten Autos und Schiffen wurden auch rund 30'000 Kilometer Telefon- und Stromkabel abgerissen.

Abbildung 8: Die Wirbelsturm Region im Atlantik. Jährlich entstehen hier zwischen August und Oktober im Durchschnitt etwa 10 Hurrikane. In Einzelfällen entstehen bereits im Juni die ersten Hurrikane.



Den weltweit teuersten Versicherungsschaden zwischen 1970 und 2001 verursachte der atlantische Hurrikan Andrew. Er zog Ende August 1992 knapp nördlich der Inseln Puerto Rico und Kuba vorbei und traf anschliessend Florida mit voller Wucht. Vor allem die Stadt Miami wurde sehr schwer beschädigt. Der Gesamtschaden in den betroffenen Gebieten belief sich auf über 20 Milliarden US-Dollar. 38 Menschen verloren bei dieser Naturkatastrophe ihr Leben. Der nächst geringere durch einen tropischen Wirbelsturm verursachte Versicherungsschaden seit 1970 betrug etwas mehr als 7 Milliarden US-Dollar. Urheber war Taifun Mireille Ende September 1991 in Japan. Er forderte 51 Menschenleben.

Nicht weniger gefährlich als die atlantischen Hurrikane sind jene, welche im südlichen Golf von Mexico, im flachen Meeresbecken zwischen Kuba und Mittelamerika entstehen. Gefährdet sind dann vor allem die Gebiete Mittelamerikas und auch die Golfküste der USA. Der bereits erwähnte Hurrikan Mitch, welcher Ende Oktober Anfang November 1998 in Mittelamerika über 10'000 Tote forderte, hat sich hier aus einem tropischen Tief entwickelt.

Auf der Halbinsel Florida im Süden der USA, welche häufig von Wirbelstürmen heimgesucht wird, befindet sich das National Hurricane Center (NHC), das weltweit führende wissenschaftliche Institut für Hurrikan-Warnungen. Hier werden die Zugbahnen aller weltweit auftretenden Wirbelstürme voraus berechnet, so dass die betroffenen Regionen frühzeitig vor der herannahenden Gefahr gewarnt werden können. Das NHC koordiniert auch die Hurrikan-Flüge. Mit schweren, viermotorigen militärischen Transportmaschinen des Typs Lockheed C-130, welche mit einer grossen Anzahl meteorologischer Messinstrumente ausgerüstet sind, werden die herannahenden Hurrikane regelmässig durchflogen. Die während des Durchflugs aufgezeichneten Daten geben wertvolle Hinweise auf das aktuelle Verhalten des Wirbelsturms, wodurch seine weitere Bahn besser abgeschätzt werden kann.

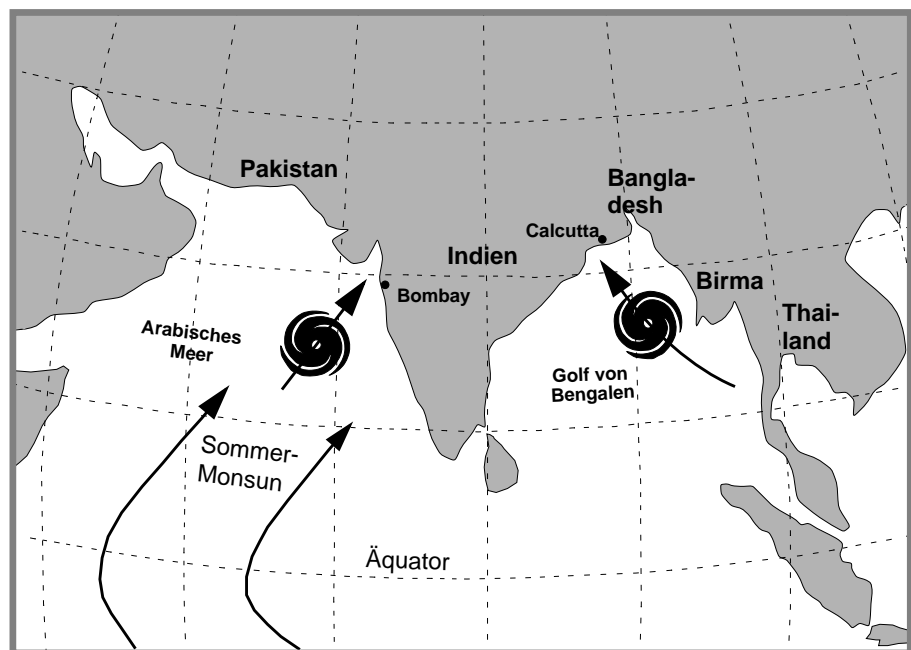
## **Zyklone im Indischen Ozean**

Die verheerendsten Folgen haben tropische Wirbelstürme fast regelmässig in der Region Indien und Bangladesh, obwohl in diesem Gebiet im Durchschnitt pro Jahr nur etwa fünf dieser hier als Zyklone bezeichneten Stürme entstehen. In den flachen Küstenregionen, welche nur wenig über dem Meeresspiegel liegen, dringen die durch die

Zyklone aufgetürmten Flutwellen oft weit ins Landesinnere vor und setzen riesige Landstriche fast schlagartig unter Wasser. Die Liste solcher Flutkatastrophen ist dementsprechend lang. Allein in der Zeit von 1970 bis 2001 starben dadurch in der Region Indien und Bangladesch weit über eine halbe Million Menschen. Ähnliches wird auch aus früheren Zeiten berichtet. Im Oktober 1737 soll ein Zyklon in der Region von Calcutta 250'000 Menschenleben gefordert haben. 1876 riss ein Zyklon ebenfalls in dieser Region durch seine offenbar über 10 Meter hohe Flutwelle 100'000 bis 400'000 Menschen in den Tod.

Die Zyklone im Arabischen Meer, welche auf die Westküste Indiens zulaufen, werden durch die so genannte Monsun-Zirkulation getrieben. Während des nordhemisphärischen Sommers erwärmt sich das tibetische Hochland nördlich von Indien stark. Dadurch wird die ITC bis in dieses Gebiet ausgelenkt (Abbildung 1). Die von der Südhemisphäre her wehenden Südostpassate müssen somit auf ihrem Weg zur ITC den Äquator überqueren. Durch die Corioliskraft werden sie zu Süd-

Abbildung 9: Die Wirbelsturm Region von Indien. Jährlich entstehen hier zwischen Juni und November im Durchschnitt etwa 5 Zyklone.



westpassaten umgelenkt, und werden so zum Sommermonsun. Auf ihrem langen Weg über den tropischen indischen Ozean nehmen diese Luftmassen enorme Mengen an Wasserdampf auf. Zusammen mit dem sommerlich warmen Meerwasser ist dies die optimale Voraussetzung zur Bildung tropischer Wirbelstürme.

In der zweiten Jahreshälfte, oft in den Monaten Oktober und November, werden die Zyklone im Golf von Bengalen aktiv. Ihre Zugbahn findet keine einfache Erklärung. Indien und Südostasien sind zu dieser Zeit nämlich bereits im Einflussbereich des winterlichen Nordostpassats. Dennoch bewegen sich die Zyklone regelmässig in einer Südostströmung von den Küsten Thailands und Birmas her Richtung Indien und Bangladesch.

## Zyklone im afrikanisch-australischen Raum

Wenig hört man von den Wirbelstürmen, welche sich im südlichen Indischen Ozean zwischen Afrika und Australien bilden. Die meisten von ihnen, hier auch als Zyklone bezeichnet, toben sich auf dem offenen Meer aus. Hin und wieder erreicht einer die Insel Madagaskar oder dann gar die Ostküste Afrikas.

Häufiger wird die Nord- und Nordwestküste Australiens von Zyklonen heimgesucht. Die Nordaustralische Stadt Darwin, heute mit etwa 80'000 Einwohnern, wurde dadurch schon mehrmals schwer beschädigt bzw. vollständig zerstört. Die schlimmsten Verwüstungen verursachten tropische Wirbelstürme in den Jahren 1878, 1881, 1897, 1917, 1937 und 1974. Der Sturm Tracy 1974 tötete 50 Menschen und zerstörte etwa 90 Prozent der Gebäude.

Oft treffen die Zyklone auch die Nordwestküste Australiens. Zum Glück richten sie in diesem sehr dünn besiedelten Gebiet meist nur wenig Schaden an.

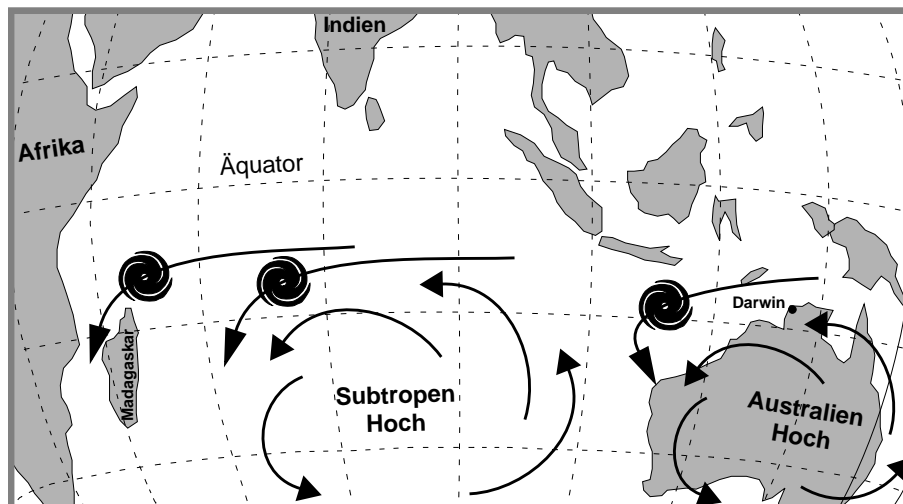
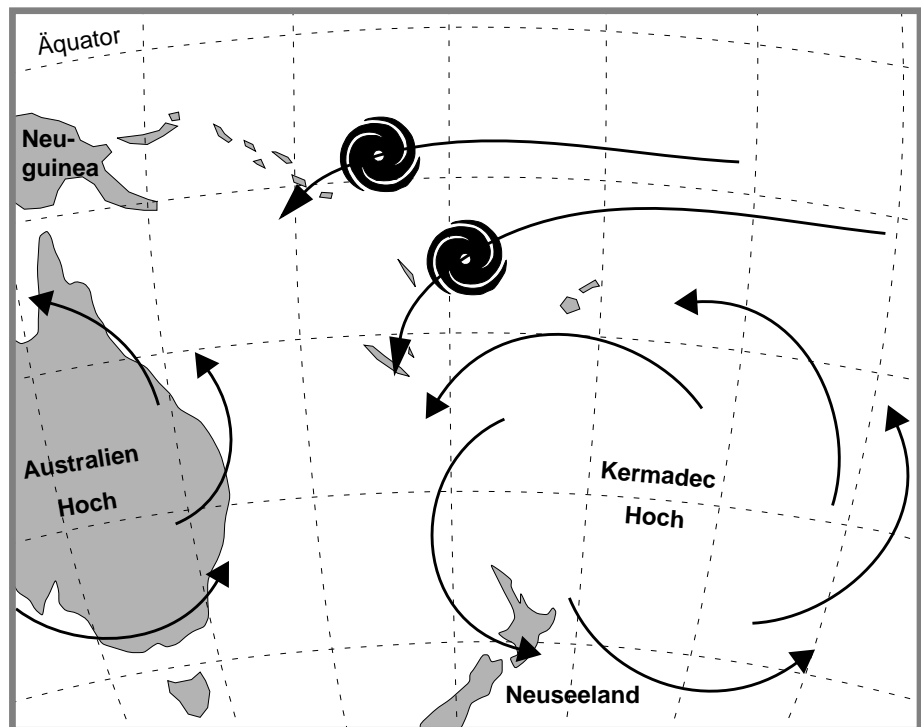


Abbildung 10: Die Wirbelsturm Region zwischen Afrika und Australien. Jährlich entstehen hier von Januar bis März im Durchschnitt etwa 17 Zyklone.

Die tropischen Wirbelstürme im afrikanisch-australischen Raum werden von der Passatströmung getrieben. Ursache der Passatströmung ist einerseits das Subtropenhoch über dem südlichen Indischen Ozean, und andererseits das Subtropenhoch über dem australischen Kontinent. Da die südhemisphärische Hochdruckzirkulation im Gegen-  
 uhrzeigersinn verläuft, sind es Südostpassate, welche die im Uhrzeigersinn drehenden Wirbelstürme nach Westen driften lassen.

Östlich von Australien traten Zyklone zwischen 1995 und 2002 eher selten auf, obwohl hier im langjährigen Durchschnitt etwa 9 pro Jahr erwartet werden. Über den Jahreswechsel 2002/2003 wüteten dann aber gleich zwei hintereinander in diesem Gebiet. Beide Male wurden Inseln schwer in Mitleidenschaft gezogen. Im ersten Fall war lange nicht klar, ob überhaupt einer der Inselbewohner den Wirbelsturm überlebt hatte. Als nach mehreren Tagen erstmals ein Schiff die Insel erreichte, stellte sich heraus, dass sich die Bewohner vor dem herannahenden Zyklon in Höhlen in Sicherheit gebracht hatten und niemand zu Schaden kam. Die Plantagen der Insel wurden jedoch vollständig zerstört, den Berichten zufolge vor allem auch durch eine riesige Flutwelle. Augenzeugen schätzten die Höhe der Flutwelle auf unglaubliche 10 Meter.

Abbildung 11: Östlich von Australien befindet sich eine weitere Wirbelsturm-Region. Hier treten zwischen Januar und März im Durchschnitt etwa 9 Zyklone auf.



## Sturmfreie Zonen

Weltweit gibt es zwei subtropische Zonen, in welchen Wirbelstürme nach bisheriger Erfahrung nicht vorkommen. Im südlichen Ostpazifik, westlich von Südamerika, sowie im Südatlantik, westlich von Afrika, sind zwei wichtige Bedingungen für die Entstehung tropischer Wirbelstürme normalerweise nicht erfüllt. In beiden Regionen steigt aus der Tiefe des Meeres kaltes Wasser aus der Antarktis an die Meeresoberfläche. Deshalb vermag sich das Oberflächenwasser nicht auf die erforderlichen 26 bis 27 °C zu erwärmen. Vermutlich aus dem gleichen Grund verschiebt sich auch die ITC nie in diese beiden Regionen. Sie verbleibt auch während des südhemisphärischen Sommerhalbjahrs im Bereich dieser Zonen nördlich des Äquators (Abbildung 1, rechte Karte). Damit ist auch die Bildung von ITC-Gewitterclustern nicht gegeben.

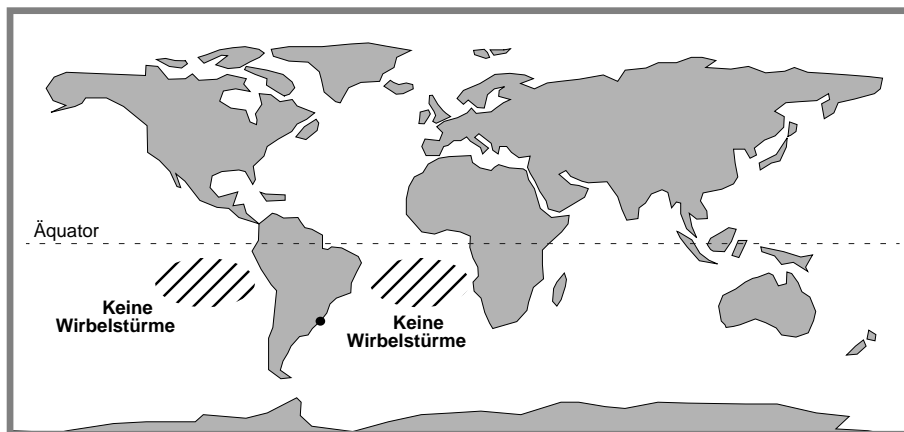


Abbildung 12: Die normalerweise wirbelsturmfreien Zonen im südlichen Ostpazifik und im Südatlantik. Der schwarze Punkt markiert die Region, in welcher der aussergewöhnliche Südatlantik-Hurrikan am 28. März 2004 an Land ging.

In der zweiten Märzhälfte 2004 wurde nun aber im Südatlantik vor der Küste Brasiliens erstmals die Entwicklung eines Hurrikans beobachtet. Insbesondere das Auge war klassisch ausgebildet. Der Hurrikan bewegte sich Richtung Westen und ging am 28. März 2004 südlich von Porto Alegre (Brasilien) an Land. Er hinterliess grosse Verwüstungen und forderte einige Todesopfer.

## Klassierte Wirbelstürme

Die Intensität und damit die Gefährlichkeit tropischer Wirbelstürme wird mit einer Skala von 1 bis 5 angegeben. Diese so genannte Saffir-Simpson-Skala findet vor allem bei der Klassierung atlantischer Hurri-

kane Verwendung. Die Einteilung in die fünf Kategorien erfolgt nach der mittleren Windgeschwindigkeit in der Zone der stärksten Windentwicklung des Wirbelsturms. Im amerikanischen Raum wird für die Bildung der Kategorien das 1-Minuten-Mittel der Windgeschwindigkeit auf einer Messhöhe von 10 Meter über Grund (auf dieser Höhe werden Windgeschwindigkeiten standardmässig gemessen) verwendet.

*Tabelle 1: Im Atlantik wird die Stärke eines Hurrikans nach der so genannten Saffir-Simpson Skala von 1 bis 5 klassiert. Liegt die Geschwindigkeit zwischen 61 km/h und 117 km/h, spricht man von einem tropischen Sturm (engl. tropical storm), unter 61 km/h von einem tropischen Tief (engl. tropical depression).*

Saffir-Simpson-Kategorie	Mittlere Windgeschwindigkeit (1-Minuten-Mittel)	Höhe der Sturmflutwelle
Tropisches Tief	unter 61 km/h	
Tropischer Sturm	61 - 116 km/h	
Hurrikan Kategorie 1	117 - 153 km/h	1.0 - 1.7 m
Hurrikan Kategorie 2	154 - 177 km/h	1.8 - 2.6 m
Hurrikan Kategorie 3	178 - 209 km/h	2.7 - 3.8 m
Hurrikan Kategorie 4	210 - 250 km/h	3.9 - 5.6 m
Hurrikan Kategorie 5	über 250 km/h	über 5.6 m

Selbstverständlich handelt es sich bei der Bestimmung der Windgeschwindigkeiten selten um direkte Messungen. Meist wird die Windgeschwindigkeit anhand anderer Beobachtungen abgeschätzt. Hierbei leisten speziell Satellitenmessungen und auch Hurrikan-Flüge wertvolle Dienste.

Ab 117 km/h mittlerer Windgeschwindigkeit (1-Minuten-Mittel) wird ein tropischer Sturm (engl. tropical storm) als tropischer Wirbelsturm (engl. tropical cyclone) oder in den amerikanischen Gebieten eben als Hurrikan (englisch: Hurricane) bezeichnet.

Bei der Angabe von Messwerten, insbesondere in den Medien, bleibt oft unklar, ob dabei das kurzzeitige Mittel (z. B. über 1 Minute)

oder das längerzeitliche Mittel (z. B. über 10 Minuten, wie in der Schweiz üblich) oder gar extreme Böen gemeint sind. Alle drei Messwerte können erheblich voneinander abweichen. Ein Hurrikan mit einem 1-Minuten Mittel von 140 km/h erreicht ein 10-Minuten Mittel von knapp 120 km/h. Starke Böen liegen dabei bereits zwischen 170 km/h und 180 km/h. Die stärksten möglichen Böen dieses Hurrikans sind mit Geschwindigkeiten zwischen 230 km/h und 240 km/h zu erwarten.

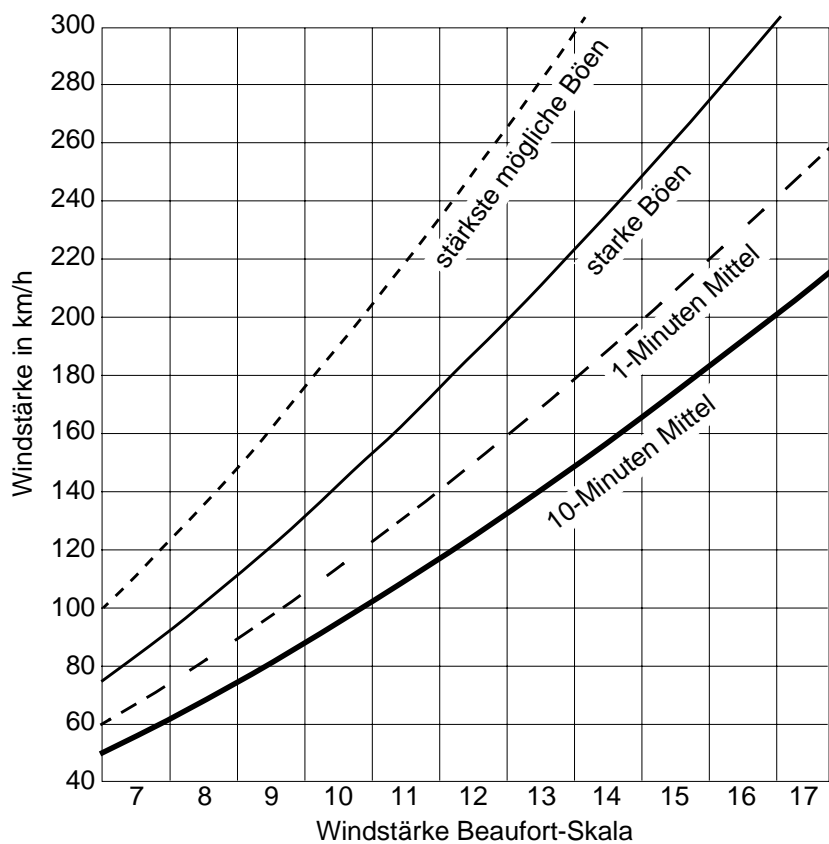


Abbildung 13: Vergleich von unterschiedlich angegebenen Windstärken. Die Beaufort-Skala geht auf einen Vorschlag des englischen Admirals und Hydrographen, Sir Francis Beaufort (1774-1857) aus dem Jahre 1806 zurück. Beaufort definierte seine Grade nach der Auswirkung der Windstärke auf eine vollgetakelte Fregatte seiner Zeit. Später ging man dazu über, sie mit den Auswirkungen auf die Wellenbildung des Meeres zu vergleichen.

Nach:  
Kraus, Ebel, 2003.



## Die Namen der Wirbelstürme

Tropische Wirbelstürme erhalten in den meisten Fällen einen Namen. Dieser Brauch soll zu Beginn des 20. Jahrhunderts in Australien eingeführt worden sein. Mittlerweile hat dieses System weltweit Nachahmung gefunden. In früheren Jahren wurden nur weibliche Namen verwendet. Um jede Diskriminierung auszuschliessen, sind heute abwechselnd weibliche und männliche Namen in Gebrauch. Namen haben auch einen durchaus praktischen Sinn. Oft sind in demselben Gebiet mehrere Wirbelstürme aktiv. Dank den Namen ist immer klar, von welchem Wirbelsturm die Rede ist.

Im atlantischen Raum werden Namenlisten für sechs Jahre in Rotation verwendet. Unten angegeben sind die Listen der Jahre 2000 bis 2011. Ausgewechselt werden nur die Namen jener Hurrikane, welche besonders viele Opfer forderten oder speziell grosse Schäden verursachten. So sind zum Beispiel die Namen Andrew oder Mitch ersetzt worden.

*Tabelle 2: Die Namenlisten atlantischer Wirbelstürme für die Jahre 2000 bis 2011. Sechs Listen werden in Rotation verwendet.*

### Namen Atlantik 2000 bis 2011 (Stand 2002)

<http://www.nhc.noaa.gov/aboutnames.html>

2000	2001	2002	2003	2004	2005
2006	2007	2008	2009	2010	2011
Alberto	Allison	Arthur	Ana	Alex	Arlene
Beryl	Barry	Bertha	Bill	Bonnie	Bret
Chris	Chantal	Cristobal	Claudette	Charley	Cindy
Debby	Dean	Dolly	Danny	Danielle	Dennis
Ernesto	Erin	Edouard	Erika	Earl	Emily
Florence	Felix	Fay	Fabian	Frances	Franklin
Gordon	Gabrielle	Gustav	Grace	Gaston	Gert
Helene	Humberto	Hanna	Henri	Hermine	Harvey
Isaac	Iris	Isidore	Isabel	Ivan	Irene
Joyce	Jerry	Josephine	Juan	Jeanne	Jose
Keith	Karen	Kyle	Kate	Karl	Katrina
Leslie	Lorenzo	Lili	Larry	Lisa	Lee
Michael	Michelle	Marco	Mindy	Matthew	Maria
Nadine	Noel	Nana	Nicholas	Nicole	Nate
Oscar	Olga	Omar	Odette	Otto	Ophelia
Patty	Pablo	Paloma	Peter	Paula	Philippe
Rafael	Rebekah	Rene	Rose	Richard	Rita
Sandy	Sebastien	Sally	Sam	Shary	Stan
Tony	Tanya	Teddy	Teresa	Tomas	Tammy
Valerie	Van	Vicky	Victor	Virginie	Vince
William	Wendy	Wilfred	Wanda	Walter	Wilma

Auch im ostpazifischen Raum werden sechs Listen in Rotation verwendet. Hier wurde in jüngerer Zeit der Name Pauline (Verwüstung der Stadt Acapulco 1997) durch den Namen Patricia ersetzt.

Namen Ostpazifik 2000 bis 2011 (Stand 2002)

<http://www.nhc.noaa.gov/aboutnames.html>

2000	2001	2002	2003	2004	2005
2006	2007	2008	2009	2010	2011
Aletta	Adolph	Alma	Andres	Agatha	Adrian
Bud	Barbara	Boris	Blanca	Blas	Beatriz
Carlotta	Cosme	Cristina	Carlos	Celia	Calvin
Daniel	Dalilia	Douglas	Dolores	Darby	Dora
Emilia	Erick	Elida	Enrique	Estelle	Eugene
Fabio	Flossie	Fausto	Felicia	Frank	Fernanda
Gilma	Gil	Geneviève	Guillermo	Georgette	Greg
Hector	Henriette	Hernan	Hilda	Howard	Hilary
Ileana	Israel	Iselle	Ignacio	Isis	Irwin
John	Juliette	Julio	Jimena	Javier	Jova
Kristy	Kiko	Kenna	Kevin	Kay	Kenneth
Lane	Lorena	Lowell	Linda	Lester	Lidia
Miriam	Manuel	Marie	Marty	Madeline	Max
Norman	Narda	Norbert	Nora	Newton	Norma
Olivia	Octave	Odile	Olaf	Orlene	Otis
Paul	Priscilla	Polo	Patricia	Paine	Pilar
Rosa	Raymond	Rachel	Rick	Roslyn	Ramon
Sergio	Sonia	Simon	Sandra	Seymour	Selma
Tara	Tico	Trudy	Terry	Tina	Todd
Vicente	Velma	Vance	Vivian	Virgil	Veronica
Willa	Wallis	Winnie	Waldo	Winifred	Wiley
Xavier	Xina	Xavier	Xina	Xavier	Xina
Yolanda	York	Yolanda	York	Yolanda	York
Zeke	Zelda	Zeke	Zelda	Zeke	Zelda

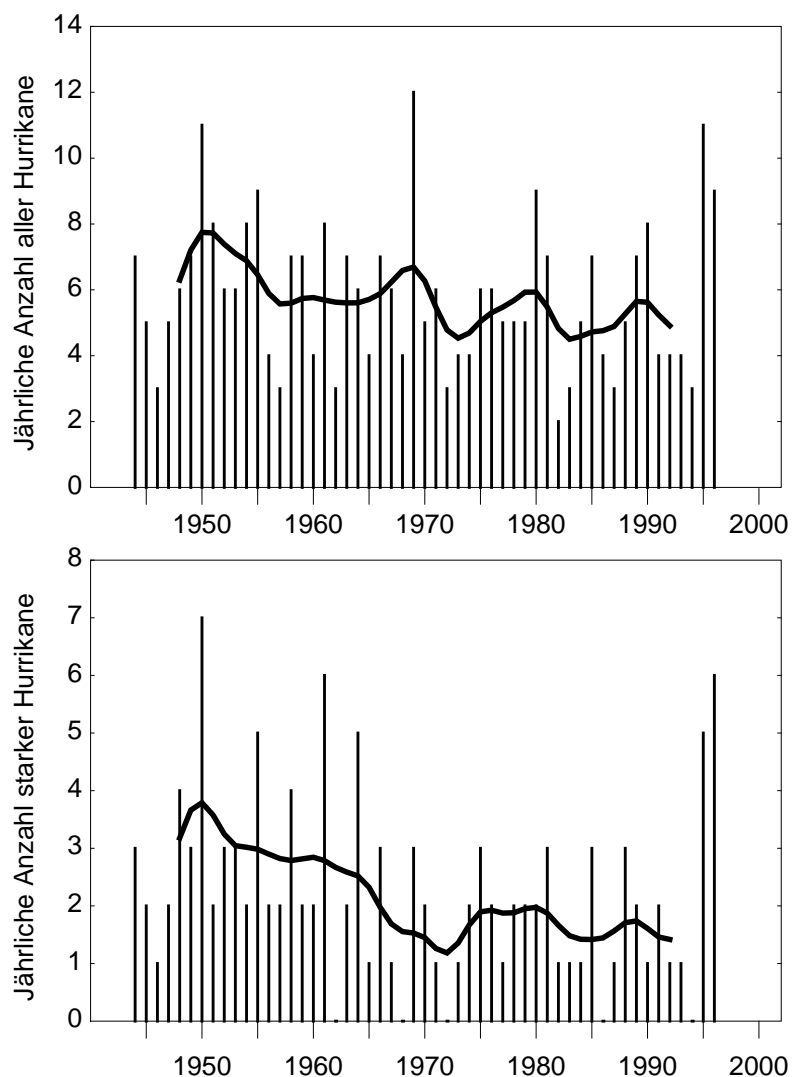
*Tabelle 3: Die Namenlisten ostpazifischer Wirbelstürme für die Jahre 2000 bis 2011. Wie im Atlantik werden sechs Listen in Rotation verwendet.*

Die Namenlisten aller Regionen können unter der Internet-Adresse <http://www.nhc.noaa.gov/aboutnames.html> nachgesehen werden.

## Wirbelstürme im Laufe der Zeit

Gibt es heute mehr und heftigere Wirbelstürme als früher? Diese immer wieder gestellte Frage ist nicht zuletzt unter dem Aspekt der globalen Erwärmung für viele der betroffenen Regionen von grosser Bedeutung. Im globalen Massstab ist eine Untersuchung der langfristigen Wirbelsturm­­tätigkeit kaum möglich, da in vielen Regionen keine jahrzehntelange Aufzeichnungen vorhanden sind. Im atlantischen Raum, für welchen bis weit zurück sehr gute Aufzeichnungen vorliegen, ist über die letzten Jahrzehnte eine leichte Abnahme in der jährlichen Anzahl von Hurrikane zu verzeichnen. Nimmt man tropische Stürme und Hurrikane zusammen, ist keine Änderung in der jährlichen Anzahl festzustellen. Deutlich zurückgegangen ist hingegen die jährliche Anzahl der starken Hurrikane ab Kategorie 3 (178 km/h mittlere

Abbildung 14: Die Wirbelsturm­­tätigkeit im Atlantik seit 1944. In der oberen Grafik ist die jährlich Anzahl aller Hurrikane, in der unteren Grafik die jährliche Anzahl der starken Hurrikane ab Kategorie 3 aufgezeichnet. Die schwarze Kurve zeigt das Mittel über 10 Jahre (Gauss Tiefpassfilter).  
Daten: Landsea et al., 1999.



Windgeschwindigkeit und höher). 1991 bis 1994 war die bisher ruhigste Vierjahres-Periode seit 1944. Von 1990 bis 1994 wurde über der Karibik (Golf von Mexiko) kein einziger Hurrikan beobachtet. Es ist dies die längste Phase ohne Hurrikane in dieser Region seit 1899.

Hurrikan-Spezialisten sehen in dieser Beruhigung einen Zusammenhang mit dem Klimaphänomen El Niño im Pazifik. Als El Niño wird eine ungewöhnlich warme Meeresströmung bezeichnet, welche im Durchschnitt alle vier bis sieben Jahre aus dem tropischen Pazifik an die Pazifikküste von Mittel- und Südamerika gelangt. Ausgelöst wird El Niño durch eine grundlegende Änderung im atmosphärischen und ozeanischen Strömungssystem des Pazifiks. Einer der wesentlichen Effekte dieser Umstellung ist eine grossflächige Erwärmung des tropischen Ostpazifiks, was sich auch nachhaltig auf die Atmosphäre auswirkt. Normalerweise dauert eine solche Umstellung rund ein Jahr. Danach geht die Erwärmung zurück und kann mitunter in eine kühle Phase umschlagen, der so genannten La Niña.

El Niño nimmt offenbar Einfluss auf die Bildung der atlantischen Hurrikane. Vor allem bei stärkeren El Niño Ereignissen entsteht in der Atmosphäre über dem stark erwärmten Ostpazifik in der Höhe ein Druckgefälle nach Norden. Dadurch wird von der Äquatorregion Richtung Norden eine Strömung ausgelöst. Durch die Coriolisablenkung entsteht daraus eine Westströmung, welche wenig nördlich des Äquators den Atlantik überquert und zum Teil bis nach Afrika reichen soll.

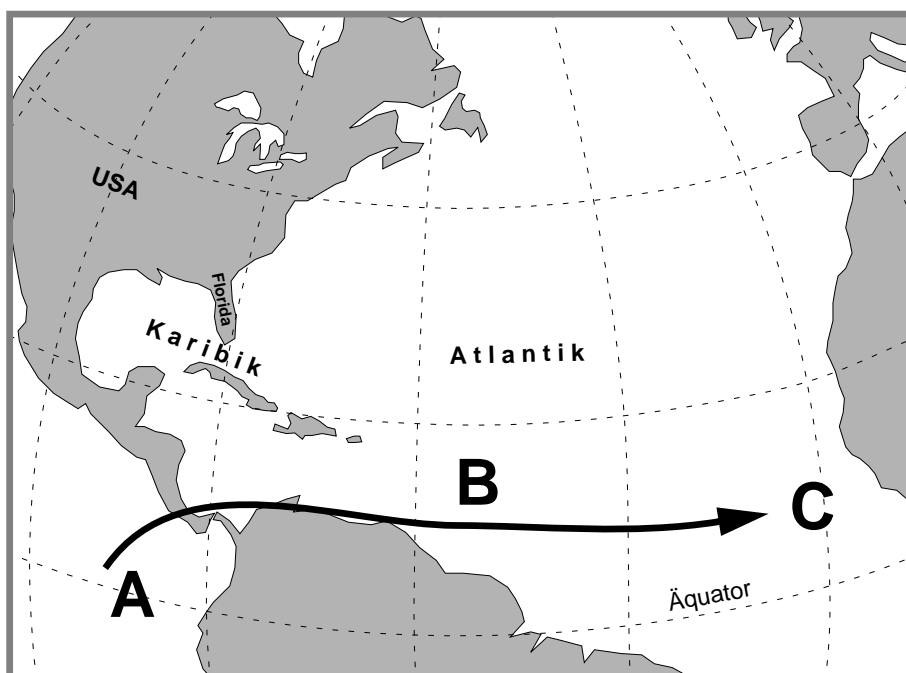


Abbildung 15: Die durch El Niño ausgelöste Westströmung, welche im Ostatlantik die Entstehung von Hurrikanen stört.

A: Erhöhte Wassertemperatur im Ost-Pazifik

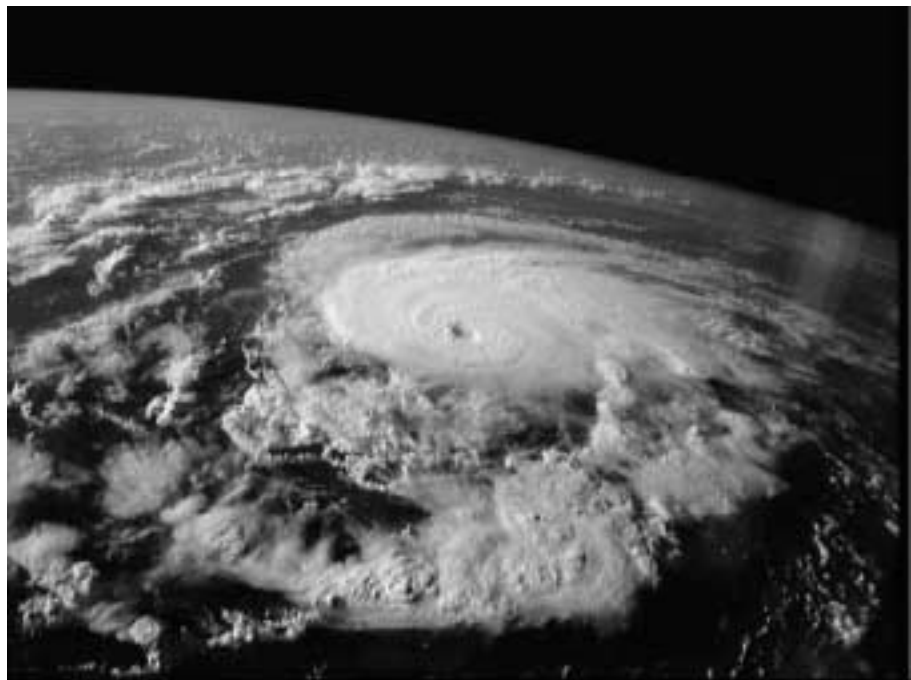
B: Westströmung in der Atmosphäre

C: Entstehungsgebiet der atlantischen Hurrikane

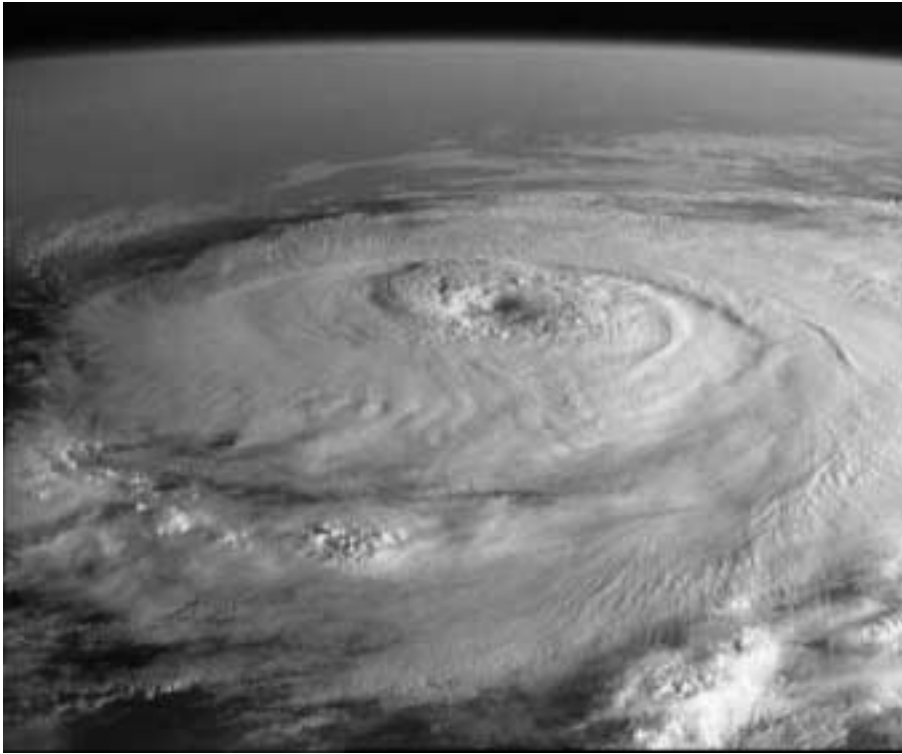
Nach: Gray and Shaef-fer, 1991.

Die durch El Niño ausgelöste Westströmung stört über dem Ostatlantik die Entwicklung von Hurrikanen, indem sie den in der Atmosphäre aufsteigenden Wasserdampf wegtransportiert. Damit entzieht sie den werdenden Wirbelstürmen sozusagen die Nahrung. Ohne genügend Wasserdampf zerfallen die heranwachsenden Sturmwirbel lange bevor sie Hurrikanstärke erreicht haben.

In der Zeit von 1990 bis 1994 war El Niño permanent aktiv. Es war eine der längsten bekannten El Niño-Phasen. Damit wäre El Niño zumindest eine plausible Erklärung für die sehr flauere Hurrikantätigkeit zwischen 1990 und 1994. Eine weitere Beobachtung spricht ebenfalls für eine Einflussnahme von El Niño auf die Hurrikanentstehung im Atlantik. Im Jahre 1982 entwickelte sich der wahrscheinlich stärkste je mit Messinstrumenten erfasste El Niño; und 1982 war das schwächste Hurrikanjahr im Atlantik seit 1944

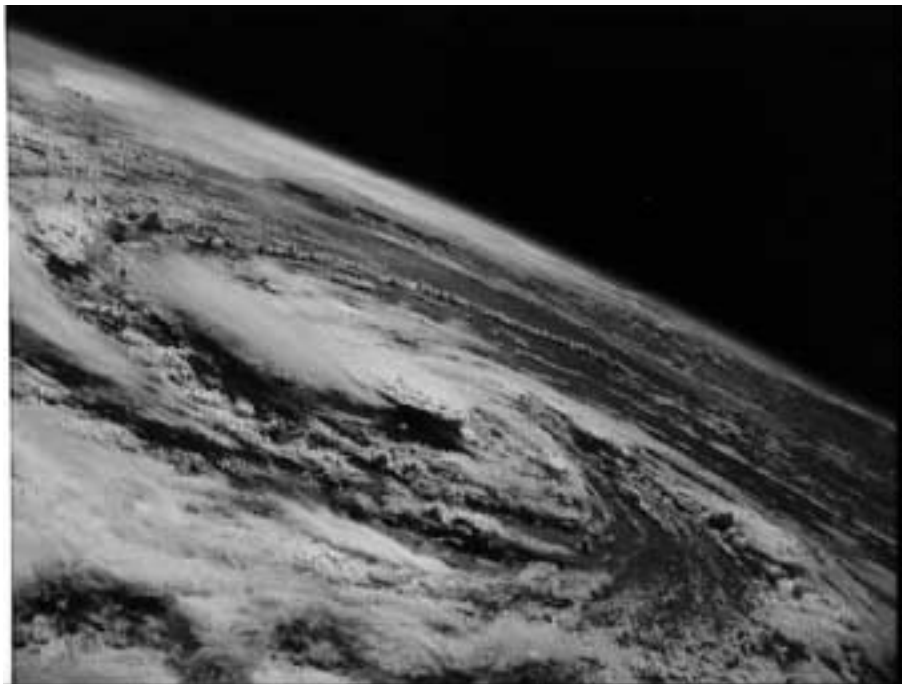


*Abbildung 16: Hurricane Bonnie nördöstlich der Bermuda-Inseln über dem atlantischen Ozean. Das Foto wurde während der Space Shuttle Mission STS-047 am 20. September 1992 aufgenommen. Sehr gut sind die typischen spiralförmigen Wolkenbänder und das Auge im Zentrum des Wirbelsturms sichtbar. Das Bild wurde freundlicherweise von der NASA zur Verfügung gestellt. <http://images.JSC.nasa.gov/>*



<http://images.JSC.nasa.gov/>

*Abbildung 17: Hurricane Elana über dem Golf von Mexico. Das Foto wurde während der Space Shuttle Mission 51-I am 3. November 1985 aufgenommen. Die dicht geschlossenen Wolkenspiralen geben dem Wirbelsturm die geradezu klassische Diskus-Form. Das Bild wurde freundlicherweise von der NASA zur Verfügung gestellt.*



<http://images.JSC.nasa.gov/>

*Abbildung 18: Hurricane Gladys über dem Golf von Mexico. Das Foto wurde während der Apollo 7 Mission am 17. Oktober 1968 aufgenommen. Die Sicht seitlich in die Wolkenspiralen hinein zeigt deren Aufbau aus z. T. grossen und dicht sich folgendes Gewitterwolken (im Bild rechts unten). Das Bild wurde freundlicherweise von der NASA zur Verfügung gestellt.*

## Zwei Wirbelsturm-Katastrophen im Spiegel der Presse

### Hurrikan Mitch sucht Mittelamerika heim

Vom 23. bis zum 27. Oktober 1998 hat sich in der südlichen Karibik aus einem tropischen Sturm ein Hurrikan der Kategorie 5 entwickelt. Als 13. System in jener Saison erhielt der Wirbelsturm den Namen Mitch. Am 27. Oktober erreichte er eine mittlere Windgeschwindigkeit von 285 km/h. Die Böenspitzen lagen noch höher. Vom National Hurricane Center der USA wurde er in den mehrmals täglich verbreiteten Warnungen als extrem gefährlich eingestuft.

#### 28. Oktober 1998 (ap)

Der Hurrikan Mitch hat am Dienstag die Bewohner der nordwestlichen Karibikküsten in Panik versetzt und in die Flucht getrieben. Mit Windgeschwindigkeiten von bis zu 285 km/h nähert sich der Wirbelsturm der Kategorie 5 - das ist der höchste Wert dieser Skala - der honduranischen Küste. Das Zentrum des Hurrikans bewegte sich am Dienstag mit acht Kilometern in der Stunde nach Westen. Für Honduras wurden schwere Regenfälle erwartet. Präsident Facusse hatte bereits am Montag Katastrophenalarm ausgerufen und die Bewohner der Küstenregionen aufgefordert, ihre Häuser zu verlassen und im Landesinneren Schutz zu suchen. Die Luftwaffe wurde angewiesen, die Bewohner einer vorgelagerten kleineren Inselkette in Sicherheit zu bringen. Auch in Belize wurde eine Hurrikan-Warnung ausgegeben. Auf der mexikanischen Halbinsel Yucatán beendeten Touristen vorzeitig ihre Ferien. Auf dem Flughafen von Cancún kam es zu einem Ansturm von Heimkehrern.

#### 29. Oktober 1998 (ap)

Zehntausende sind in Mittelamerika vor dem Hurrikan Mitch, einem der stärksten Karibikstürme dieses Jahrhunderts, auf der Flucht von den Küsten ins Landesinnere. Der Hurrikan richtete in Honduras mit Windgeschwindigkeiten von bis zu 300 km/h schwere Verwüstungen an. 45'000 Bewohner küstennaher Orte wurden evakuiert. Hochwasser wurde aus Honduras, Belize, Mexico und anderen Ländern gemeldet. Auf einer zu Honduras gehörenden Insel sollen nach inoffiziellen Angaben 14 Personen ums Leben gekommen sein. In Nicaragua starben nach Angaben des Roten Kreuzes 8 Menschen bei Überschwemmungen, in Honduras 3 Personen. Mitch ist laut Meteorologen der viertstärkste Hurrikan in der Karibik in diesem Jahrhundert. Am Mittwoch schwächte er sich leicht ab, gilt wegen des Sturzregens, den er mit sich bringt, aber weiter als tödliche Bedrohung. Mexico gab eine Warnung für die Halbinsel Yucatán heraus und evakuierte Tausende von Einwohnern und Touristen aus den Ferienorten wie Cancún und Cozumel, wo Mitch gegen Ende der Woche nach Vorhersagen von Meteorologen eintreffen soll.

### 1. November 1998 (Reuters/afp/ap)

Der Tropensturm Mitch hat am Wochenende in Mittelamerika schwere Verwüstungen angerichtet und mehrere hundert Todesopfer gefordert. Das Unwetter, das Mitte vergangener Woche wegen nachlassender Windstärke von den Meteorologen von einem Hurrikan zu einem tropischen Sturm herabgestuft worden war, wies am Sonntag noch eine Windstärke von 55 km/h auf. Nach offiziellen Angaben kamen bis Samstag mehr als 460 Personen ums Leben. Hunderte werden vermisst, und die Behörden rechnen damit, dass sich die Zahl der Toten auf mehr als Tausend erhöhen könnte. Von den sintflutartigen Regenfällen und Überschwemmungen waren in Mittelamerika rund 2,5 Millionen Einwohner betroffen. Fast eine halbe Million Menschen wurden obdachlos. Betroffen waren meist Dörfer von Kleinbauern und Elendsviertel am Rand der grossen Städte.

Während sich der Süden Mexicos auf die Ankunft von Mitch vorbereitete, wurden in Honduras, Guatemala und El Salvador der Notstand ausgerufen. Laut unbestätigten Radioberichten sollen im Nordwesten Nicaraguas mehr als 1000 Personen in einer Schlammlawine umgekommen sein, die fünf Dörfer verschüttete. In der honduranischen Hauptstadt Tegucigalpa lagen zahlreiche Leichen in den von Schlamm überfluteten Strassen. Plünderer nutzen das Chaos und räumten die Regale von Supermärkten und Geschäften aus. In El Salvador mussten nahe der Grenze zu Nicaragua 7000 Familien evakuiert werden.

In allen Ländern waren die Helfer angesichts des Ausmasses der Katastrophe überfordert. Unaufhörliche Niederschläge und überflutete Strassen verhinderten die Rettung der Bewohner in Dutzenden von Dörfern, die durch Erdbeben von der Aussenwelt abgeschnitten wurden. In Nicaragua und Honduras waren ganze Regionen wegen der Überschwemmungen nicht mehr erreichbar, weil Strassen und Brücken zerstört worden waren. Honduras setzte Armeehelikopter zur Versorgung der Sturmpfer ein. Die nicaraguanische Regierung bat die USA um Unterstützung bei den Rettungsarbeiten. Die Behörden befürchten nach dem Ende des Sturms den Ausbruch von Malaria, Denguefieber und Cholera.

### 3. November 1998 (Neue Zürcher Zeitung)

Laut vorläufigen und vorsichtigen Schätzungen hat der seit einer Woche an der Karibikküste Zentralamerikas wütende Hurrikan Mitch bis zu 7000 Todesopfer gefordert, vornehmlich in Nicaragua, Honduras und El Salvador. Mehrere tausend Personen gelten als vermisst. In Honduras und Nicaragua haben die schweren Regenfälle vor allem Landwirtschaftsgebiete und Verkehrsverbindungen schwer in Mitleidenschaft gezogen. Im Verlaufe des Montags hat sich Mitch an der Grenze zwischen Guatemala und Mexico weitgehend aufgelöst.

In Nicaragua haben die massiven Regenfälle an der Flanke des 1405 Meter hohen Vulkans Casintas eine Schlammlawine ausgelöst, welche ein 50 Quadratkilometer grosses Gebiet mit fünf Dörfern unter sich begrub. Der Verteidigungsminister rechnete mit 1500 bis 2000 Toten. Man vermutete, dass sich der Krater mit Wasser anfüllte und dann auseinander brach. In Honduras waren zeitweilig 15'000 bis 20'000 Personen vom Wasser eingeschlossen. Der Armeechef gab bekannt, dass die Situation vielerorts dramatisch sei und Tausenden von Personen der Tod drohe, falls sie nicht bald aus den überschwemmten Gebieten gerettet würden.



### 5. November 1998 (dpa/afp)

Bei den Überschwemmungen durch den Hurrikan Mitch sind in Mittelamerika wahrscheinlich mehr als 10'000 Personen ums Leben gekommen. In den verwüsteten Gebieten laufen inzwischen die internationalen Hilfsaktionen an, an denen auch die Schweiz beteiligt ist. In Honduras wurden bisher 5000 Tote registriert. Mehr als 11'000 Personen werden noch vermisst. Man befürchtet, dass ein grosser Teil von ihnen ebenfalls umgekommen sind. In Nicaragua ist die Zahl von bisher 1340 Toten bestätigt worden. Mindestens 1900 werden noch vermisst. In Guatemala wurden bisher 186 Tote gemeldet, in El Salvador 100 und 200 Vermisste. Die Zahl der Geschädigten geht in die Millionen. Das Gesamtausmass der Sachschäden ist noch nicht absehbar.

### Zyklon 5B wütet an der Ostküste Indiens

Ende Oktober 1999 hat sich über dem südchinesischen Meer ein massives tropisches Tiefdruckgebiet gebildet. Es zog anschliessend westwärts über den Süden Thailands und Malaysia in den Golf von Bengalen. In beiden Regionen verursachten die heftigen Niederschläge schwere Überschwemmungen. 10'000 Menschen wurden dabei obdachlos, 11 kamen in den Unwettern ums Leben.

Über dem warmen Wasser des Golf von Bengalen wuchs das tropische Tief schnell zu einem starken Wirbelsturm heran. Dieser bewegte sich ziemlich geradlinig auf die Ostküste Indiens zu. Zunächst vermutete man, dass er in Richtung der Stadt Calcutta abschwanken würde. Doch dann traf er mit voller Wucht den Indischen Staat Orissa.

### 1. November 1999 (Neue Zürcher Zeitung)

Das Zentrum des Zyklons befand sich in der Nähe der Hafenstadt Paradip, als er am Freitag mit Geschwindigkeiten bis zu 260 km/h über den armen ostindischen Teilstaat Orissa hereingebrochen war. 1.2 Millionen Einwohner wurden obdachlos, und die Zahl der Toten wird auf über 1000 geschätzt. Der gewaltige Zyklon unterbrach alle Kommunikationswege - Telefonverbindungen, Strassen, Eisenbahnlinien. Doch auch die rasch aufgebotenen Armee-Einheiten warteten noch am Sonntag in verschiedenen Flughäfen des Landes auf ihren Einsatz. Windgeschwindigkeiten von immer noch 120 km/h verhinderten einen Einsatz. Auf einer Länge von 30 Kilometern nördlich von Paradip soll Meerwasser meterhoch ins Landesinnere eingedrungen sein. Auch wird berichtet, Häuser, Bäume und selbst exponierte Bodenteile seien vom Sturm weggerissen worden. Entlang der ganzen indischen Ostküste werden Hunderte von Fischern vermisst, die sich nicht rechtzeitig in Sicherheit bringen konnten. Dass sich Fischer überhaupt noch auf See befanden zeigt, wie schlecht die Katastrophenwarnung in Indien funktioniert. Der Sturm war von Wettersatelliten seit einer Woche in seiner wachsenden Gestalt gesichtet und verfolgt worden. Bereits am Mittwoch wurde klar,

dass sich der Sturm zu einem gewaltigen Zyklon entwickeln würde, zu einem sogenannten Sturm der Kategorie 5, der mit Geschwindigkeiten von 260 km/h achtmal zerstörerischer ist als ein normaler tropischer Sturm. Trotz der sofort ausgegebenen Katastrophenwarnung des Wetterdienstes wurden nur etwa 200'000 Menschen evakuiert, unter anderem deshalb, weil die Behörden noch damit beschäftigt waren, die Schäden des Wirbelsturms zu beseitigen, welcher vor zwei Wochen diesen bitterarmen Staat heimgesucht hatte.

Bereits 1971 hatte ein Wirbelsturm Orissa verwüstet. 1991 kamen bei einem Wirbelsturm im südlichen Nachbarstaat Andhra Pradesh über 10'000 Menschen ums Leben, und letztes Jahr war die Westküste von einem schweren Sturm betroffen.

### 2. November 1999 (Neue Zürcher Zeitung, dpa, afp)

Der gewaltige Zyklon, der am Freitag die Ostküste Indiens heimsuchte, hat wahrscheinlich mehrere tausend Personen in den Tod gerissen. Die Verwüstungen sind so verheerend, dass am Montag noch jede Übersicht fehlte. Nach Behördenangaben wird es noch Tage dauern, bis zuverlässige Schätzungen über die Gesamtzahl der Opfer vorliegen. In Presseberichten war aber schon von bis zu 10'000 Toten die Rede. Viele Ortschaften waren noch immer von der Aussenwelt abgeschnitten. Wie verzweifelt die Lage war, zeigten Unruhen in der Hauptstadt von Orissa. Lastwagen mit Hilfsgüter wurden geplündert. Der Regierungschef von Orissa flog zwei Stunden mit einem Helikopter über die Küstenregion. Er habe nichts als Wasser gesehen, berichtete er. Der Ministerpräsident Indiens sprach von einer nationalen Katastrophe. Der Zyklon hatte Flutwellen vom Meer 15 Kilometer tief ins Landesinnere getrieben. Schätzungsweise 1.5 Millionen Menschen sind obdachlos, 12 Millionen von Zerstörungen betroffen. Die Internationale Föderation der Rotkreuz- und Rothalbmondgesellschaften riefen am Montag zu Spenden auf. 3000 Soldaten warfen Nahrung aus der Luft ab und räumten die ersten Strassen frei. Kritische Fragen mussten sich am Montag die meteorologischen Institute gefallen lassen. Experten hatten den Zyklon tagelang beobachtet und gesehen, wie er über dem warmen Meer an zerstörerischer Kraft gewann. Deswegen stufen sie ihn als Super-Zyklon ein und gaben Warnungen aus. Mehrere 100'000 Personen wurden evakuiert. Als der Zyklon das Festland erreichte, brach das Warnsystem jedoch zusammen. Der Kontakt zwischen der Hauptstadt und den Meteorologen in Orissa brach ab. Für Tausende von Menschen kam schliesslich jede Warnung zu spät.

### 17. November 1999 (Neue Zürcher Zeitung)

Mehr als zwei Wochen nach der bisher schlimmsten Sturmkatastrophe Indiens in diesem Jahrhundert gelingt es den Hilfsteams in Orissa endlich, in die am meisten betroffenen Gegenden des Mahanadi-Deltas vorzudringen. Was sie dabei vorfinden, lässt sich am deutlichsten in der offiziellen Opferstatistik ablesen: Innert Tagen schnellte die Zahl der registrierten Toten von 3000 auf 7000 und bis zum Wochenende auf 9500 hinauf, und noch ist kein Ende abzusehen.

Auf die Naturkatastrophe droht eine Hungernot zu folgen. Das Mahanadi-Delta, wo der Sturm am heftigsten gewütet hat, war die Reisschüssel von Orissa. Die Flutwelle hat die bevorstehende Winterernte in diesen Distrikten zerstört und wird den Gesamtertrag dieses Staates nahezu halbieren. Von den 10 Millionen Bewohnern die-

ser Region sind 80 Prozent Bauern, und die Versalzung von 320'000 Hektaren Boden und Grundwasser dürfte für die nächsten fünf Jahre keinen Reisanbau mehr zulassen. Die Entwurzelung der Fruchtbäume - Mango, Kokos- und Betelnuss - nimmt ihnen die Aussicht auf ein bescheidenes Bareinkommen, und nach dem Verlust ihrer Arbeitstiere können sie auch ihre Äcker nicht mehr bestellen. Die Industrie - meistens auf die Landwirtschaft ausgerichtete Kleinbetriebe - ist gemäss einer ersten Untersuchung des Industriellenverbandes um zwanzig Jahre zurückgeworfen worden.

## Verwendete Literatur

### Klimatologie und Meteorologie der Wirbelstürme

Blüthgen, J., W. Weischet, 1980: Allgemeine Klimageographie. 3. Auflage. Verlag Walter de Gruyter, Berlin.

Gray, M.W. and J.D. Shaeffer, 1991: El Niño and QBO influences on tropical cyclone activity. In: Glantz, M.H., R.W. Katz, N. Nicholls, (eds.) 1991: Teleconnections linking worldwide climate anomalies. Scientific basis and societal impact. Cambridge University Press. Cambridge: 257-284.

Kraus, H., U. Ebel, 2003: Risiko Wetter. Die Entstehung von Stürmen und anderen atmosphärischen Gefahren. Springer Verlag, Berlin.

Landsea, C.W., R.A. Pielke (Jr.), A.M. Mestas-Nuñez, J.A. Knaff, 1999: Atlantic basin hurricanes: Indices of climatic changes. Climatic Change 42: 89-129.

Liljequist, G.H., K. Cihak, 1979: Allgemeine Meteorologie. 2. verbesserte und erweiterte Auflage. Verlag Friedr. Vieweg & Sohn. Braunschweig/Wiesbaden.

National Hurricane Center (NHC), 2003: <http://www.nhc.noaa.gov/>

Warnecke, G., 1997: Meteorologie und Umwelt. Eine Einführung. Zweite überarbeitete und aktualisierte Auflage. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

### Schäden und Ereignisse

Blüthgen, J., W. Weischet, 1980: Allgemeine Klimageographie. 3. Auflage. Verlag Walter de Gruyter, Berlin.

Darwin, Australia, 1878-1974: [http://www.ntlib.nt.gov.au/tracy/advanced/History\\_Cyclones.html](http://www.ntlib.nt.gov.au/tracy/advanced/History_Cyclones.html)

Great New England Hurricane of 1938: <http://www.erh.noaa.gov/er/box/hurricane1938.htm>

MetOffice 2004: South Atlantic Hurricane breaks all the rules. UK MetOffice; <http://www.metoffice.com/sec2/sec2cyclone/catarina.html>

Meyer, P., M. Bisping, M. Weber, C. Brauner, 1996: Tropische Zyklone. Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, PM/CP.

Swiss Re, 2001: Natur- und Man-made-Katastrophen 2000. sigma Nr. 2/2001.





## Arbeitsberichte der MeteoSchweiz

### *Kürzlich erschienen:*

- 201** Schmutz , C, Schmuki, D, Rohling S: 2004, Aeronautical Climatological Information Zurich LSZH, 110pp, 34 Fr.
- 200** Bader, S: 2004, Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003, 25pp, 14 Fr.
- 199** Frei T, Dössegger R, Galli G, Ruffieux D: 2002, Konzept Messsysteme 2010 von MeteoSchweiz, 100pp, 32 Fr.
- 198** Kaufmann P: 2002, Swiss Model Simulations for Extreme Rainfall Events on the South Side of the Alps, 40pp, 20 Fr.
- 197** WRC Davos (Ed): 2001, IPC - IX, 25.9. -13.10.2000, Davos, Switzerland, 100pp, 32 Fr.
- 196** Hächler P et al.: 1999, Der Föhnfall vom April 1993, 139pp , 40 Fr.
- 195** Urfer Ch, Vogt R.: 1999, Die Niederschlagsverhältnisse in Basel 1964-1998, 43pp, 40 Fr.
- 194** Courvoisier HW: 1998, Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901 - 1996, 20pp, 11 Fr.
- 193** Defila C, Vonderach G: 1998, Todesfälle und Wetterlagen in Schaffhausen, 72pp, 25 Fr.
- 192** Maurer H: 1997, Frostprognose in der Schweiz: neue Methode mit automatischen Stationen, 38pp, 16 Fr.
- 191** Schönbächler M: 1996, Objektive Kontrolle der Textprognose SMA OPKO, 31pp, 14 Fr.
- 190** Brändli J: 1996, Statistische Auswertungen von täglichen und monatlichen Verdunstungswerten an 22 Standorten der Schweiz, 52pp, 19 Fr.
- 189** Schneiter D: 1994, SMI contribution to ETEX project in 1994, 24 Fr.
- 188** Fröhlich C. : 1996, Internationaler Pyrheliometervergleich Comparison IPC VIII 25 September - 13 October 1995 Results and Symposium, 35 Fr.
- 187** Calame F. : 1996, Evolution de la température de l'air et de la phénologie d'espèces végétales entre 1952 et 1992 dans la région genevoise et sur le Plateau Suisse, 19pp, 11 Fr.
- 186** Spinedi F., et al. : 1995, Le alluvioni del 1993 sul versante subalpino, 42pp, 20 Fr.
- 185** Held E : 1995, Radarmessung im Niederschlag und der Einfluss der Orographie, 98pp, 33 Fr.
- 184** Schüepp M: 1995, Uebersicht über die Beiträge zur Klimatologie des Alpengebietes von Dr. E. Ambühl; mit Kommentaren zum aktuellen Forschungsstand im Gebiet der Temperaturverhältnisse in den letzten zwei Jahrhunderten, 24pp, 15 Fr.
- 183** Heimo A., et al.: 1995, RASTA, Radiometer for Automatic Stations , 24pp, 15 Fr.
- 182** Schüepp M: 1995, VIVIAN (Sturmperiode Februar 1990), 45pp, 21 Fr.
- 181** Hächler P., Wolf D, 1995, Konzept Netze 93, 68pp, 24 Fr.

Frühere *Veröffentlichungen* und *Arbeitsberichte* finden sich unter  
[www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch)



## Veröffentlichungen der MeteoSchweiz

### *Kürzlich erschienen:*

- 67** Begert M.; Seiz G.; Schlegel T.; Musa M; Baudraz G. und Moesch M: 2003, Homogenisierung von Klimamessreihen der Schweiz und Bestimmung der Normwerte 1961-1990, Schlussbericht des Projektes NORM90, 170pp, 40 Fr.
- 66** Schär Christoph, Binder Peter, Richner Hans, Eds.: 2003, International Conference on Alpine Meteorology and MAP Meeting 2003, Extended Abstracts volumes A and B, 580pp., 100 Fr.
- 65** Stübi R.: 2002, SONDEX / OZEX campaigns of dual ozone sondes flights: Report on the data analysis, 78pp., 27 Fr.
- 64** Bolliger M: 2002, On the characteristics of heavy precipitation systems observed by Meteosat-6 during the MAP-SOP, 116pp., 36 Fr.
- 63** Favaro G, Jeannet P, Stübi R : 2002, Re-evaluation and trend analysis of the Payerne ozone sounding, 99pp, 33 Fr.
- 62** Bettems JM: 2001, EUCOS impact study using the limited-area non-hydrostatic NWP model in operational use at MeteoSwiss, 17pp, 12 Fr.
- 61** Richner H, et al.: 1999, Grundlagen aerologischer Messungen speziell mittels der Schweizer Sonde SRS 400, 140pp, 42 Fr.
- 60** Gisler O: 1999, Zu r Methodik einer Beschreibung der Entwicklung des linearen Trends der Lufttemperatur über der Schweiz im Zeitabschnitt von 1864 bis 1990, 125pp, 36 Fr.
- 59** Bettems JM: 1999, The impact of hypothetical wind profiler networks on numerical weather prediction in the Alpine region, 65pp, 25 Fr.
- 58** Baudenbacher, M: 1997, Homogenisierung langer Klimareihen, dargelegt am Beispiel der Lufttemperatur, 181pp, 50 Fr.
- 57** Bosshard, W: 1996, Homogenisierung klimatologischer Zeitreihen, dargelegt am Beispiel der relativen Sonnenscheindauer, 136pp, 38 Fr.
- 56** Schraff, C: 1996, Data Assimilation and Mesoscale Weather Prediction: A Study with a Forecast Model for the Alpine Region, 138pp, 38 Fr.
- 55** Wolfensberger, H: 1994, Chronik der Totalisatoren, Handbuch zu den Niederschlags-Totalisatoren, 390pp, 78 Fr.
- 54** Fankhauser, G A: 1993, Einfluss der Witterung auf den Ertrag und die Qualität von Zuckerrübenkulturen, 116pp, 36 Fr.
- 53** de Montmollin A. : 1993, Comparaisons de différentes méthodes de calcul de la température journalière dans leurs influences sur les longues séries d'observations, 144pp, 41 Fr.
- 52** Brändli J. : 1993, Niederschlag, Verdunstung und Wasserbilanz der Station Zürich SMA von 1901-1990, 109pp, 34 Fr.
- 51** Binder P. 1992, Aspects of precipitation simulation in numerical weather prediction - Towards an operational mesoscale NWP model, 148pp, 42 Fr.
- 50** Defila C. 1991, Pflanzenphänologie der Schweiz, 238pp, 62 Fr.