

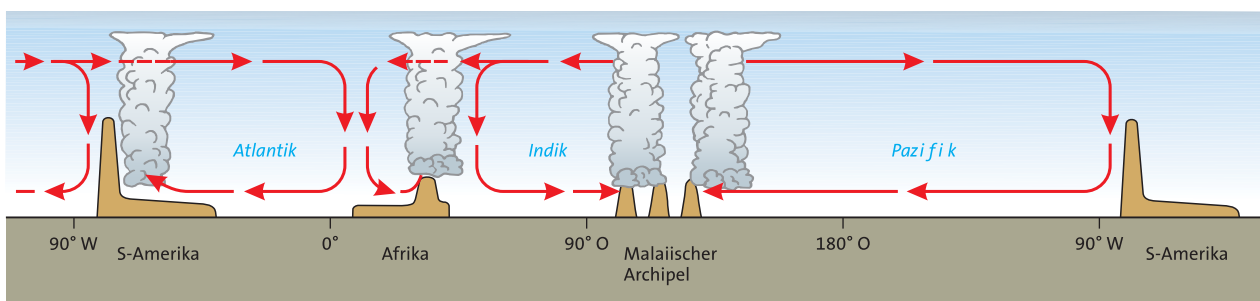
2.6 Tropische Zirkulation

Im jahreszeitlichen Verlauf verändert sich durch die unterschiedlich starke Erwärmung der Nord- bzw. Südhalbkugel die Lage der ITC. Dabei kommt es zur Aufspaltung in eine stark ausgeprägte ITC (thermischer oder meteorologischer Äquator) und eine schwächere ITC am mathematischen Äquator.

Die unterschiedliche Erwärmung von Festlands- und Wasserflächen führt im Bereich des Äquators zu einer zonalen Zirkulation, die nach dem Entdecker der Southern Oscillation als Walker-Zirkulation bezeichnet wird. So steigt im Bereich der Sundainseln in Äquatornähe feuchtwarmer Luft über dem warmen Oberflächenwasser auf, wobei intensive Niederschläge entstehen. Im östlichen tropischen Pazifik dagegen sinkt trockene und kühle Luft über dem kalten Oberflächenwasser (Humboldtstrom) ab. Aus dem so entstandenen Druckgefälle entsteht in Bodennähe eine Luftströmung entlang des Äquators von Ost nach West, die Teil eines großen zonalen Zirkulationsrades ist.

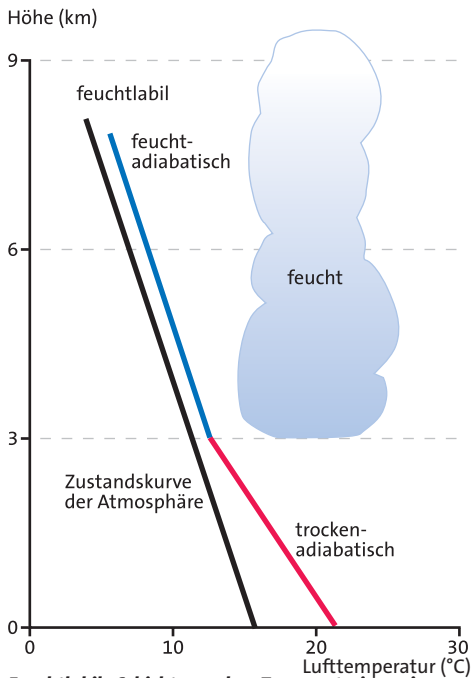
Mit der Hadley- und Walker-Zirkulation lassen sich meridionale bzw. zonale Luftbewegungen in den Tropen beschreiben. Dabei handelt es sich jedoch um schematische Abstraktionen. In Wirklichkeit wird Luft, die im Bereich des Äquators am Boden einer Ost-West-Strömung unterliegt, keinen geschlossenen Weg in einem Walker-Zirkulationsrad zurücklegen, da sie aufgrund der Hadley-Zirkulation auch eine meridionale Bewegungskomponente besitzt. Die in den Tropen häufig diagonal verlaufenden Winde sind meist das Ergebnis aus der Überlagerung der beiden Zirkulationszellen.

Die tropische Zirkulation wird primär durch die Passatzirkulation, die auch als Hadley-Zirkulation bezeichnet wird, geprägt. In der oberen Troposphäre strömen die im Bereich des Äquators aufgestiegenen Luftmassen zunächst Richtung gemäßigten Breiten und bilden dann infolge der Coriolisablenkung die Westwinddrift. Im Bereich der subtropischen Hochdruckzellen sinkt Luft ab. Infolge des Druckgefälles zur äquatorialen Tiefdruckrinne entsteht unter dem Einfluss der Coriolisablenkung eine Ostströmung. Erst in Bodennähe bilden sich durch Reibung der Erdoberfläche die Nordost- bzw. Südostpassate aus.

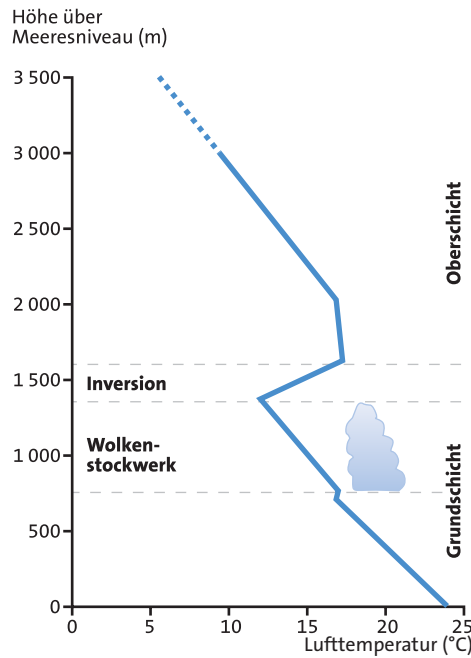


2 Schema der mittleren zonalen Walker-Zirkulation in den Tropen

2.6 Tropische Zirkulation



3 Feuchtlabile Schichtung ohne Temperaturinversion



5 Typischer Vertikalaufbau einer ozeanischen Passatströmung

Passatinversion: Temperaturumkehr innerhalb der Passatluft, die sich zwischen der aus der Höhe absinkenden Luft und der von der Erdoberfläche aufsteigenden Luft bildet. Sie wirkt als Sperrschicht für die Konvektion und verhindert die weitere Wolkenbildung und Niederschläge.

4 Passate und Passatinversion

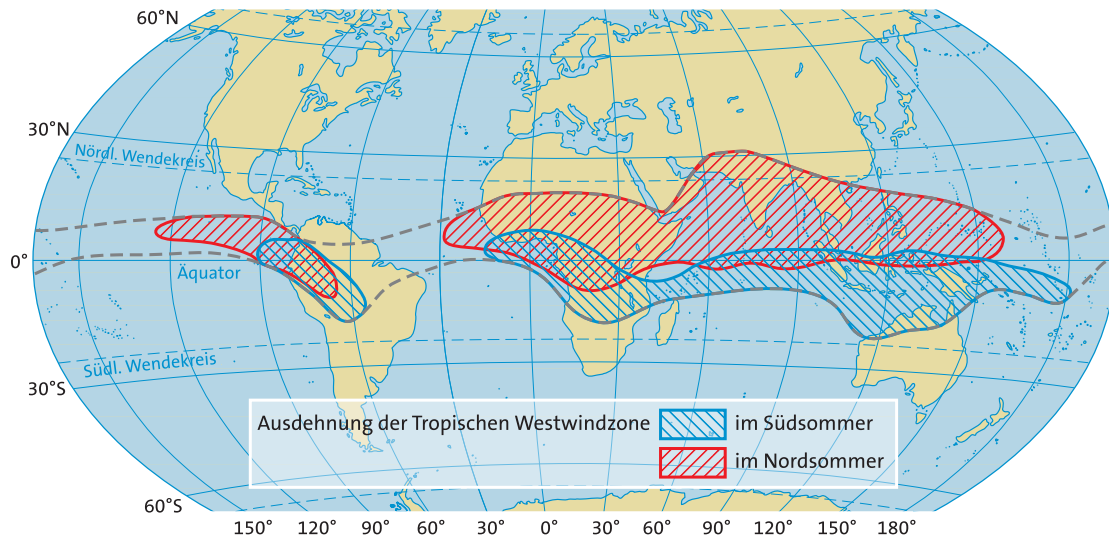
„Zur weiteren Charakterisierung der Passate sollte man sich vergegenwärtigen, dass es sich hier um Luftmassen handelt, deren Ursprung in den Antizyklonen des subtropisch-randtropischen Hochdruckgürtels liegt. Dort sind sie abgesunken und dabei entsprechend ausgetrocknet. Wenn sie jetzt zum Äquator abfließen, vergrößert sich die ihnen zur Verfügung stehende Fläche entsprechend der Meridiandivergenz (die Meridiane laufen äquatorwärts immer weiter auseinander), was eine Verringerung der vertikalen Mächtigkeit, also Absinkbewegungen mit weiterer Austrocknung, nach sich zieht. Der Passat ist folglich stabil geschichtet und neigt somit auch wenig zur Wolkenbildung; nicht umsonst sind die kontinentalen Passatzonen die Trockenzone der Erde (Wendekreiswüsten).“

Über dem Meer werden die typischen Merkmale dieser Winde deutlich: große räumliche Konstanz in Richtung und Stärke. Entsprechend ihrer Bedeutung für die Segelschiffahrt wurden sie daher auch als ‚trade winds‘ bezeichnet. Beim Überströmen großer Wasserflächen reichern sich die Passatluftmassen mit Wasser

an. Trifft der Passat dann auf ein orographisches Hindernis, so wird die Passatinversion durchbrochen. Die erzwungene Vertikalbewegung bringt auf der Luv-Seite der Gebirge ergiebige Stauniederschläge mit entsprechend hoch reichender Wolkenbildung. Beobachten kann man diesen Effekt sehr gut bei Inseln, die in der Passatzone liegen, z.B. Hawaii oder den Inseln über dem Winde in der Karibik, aber auch dort, wo der Passat auflandig weht, z.B. an den Ostküsten Südamerikas.

Besondere Beachtung fand die Passatzone zur Zeit der Segelschiffahrt. Vor allem die sogenannten Roßbreiten – das ist die Wurzelzone absteigender Luftmassen – waren berüchtigt, da man hier bei Windstille oft wochenlang festlag und dann kein Trinkwasser mehr hatte. Die Pferde gingen ein, und Seuchen brachen aus. Auch in der Auslaufzone der Passate waren die Bedingungen für die Segelschiffe nicht besonders günstig. Schwache, unbeständige Winde brachten dieser Zone die Bezeichnung ‚Mallungen‘ (von niederdeutsch mal = verrückt) ein.“

Eckardt Jungfer: Einführung in die Klimatologie. Stuttgart: Klett, 1985, S. 63/64



6 **Ausdehnung der tropischen Westwindzone** (verändert nach Flohn, 1971). Zusätzliche Erklärung: NITC im Sommer (gestrichelte Linie auf NHK); SITC im Sommer (rote durchgehende Linie); SITC im Winter (gestrichelte Linie auf SHK); NITC im Winter (blaue durchgehende Linie)

Geostrophischer Wind

Isobarenparalleler Wind, der sich ohne Einfluss der Reibung der Erdoberfläche in einem Luftdruckfeld mit parallel verlaufenden Isobaren einstellt.

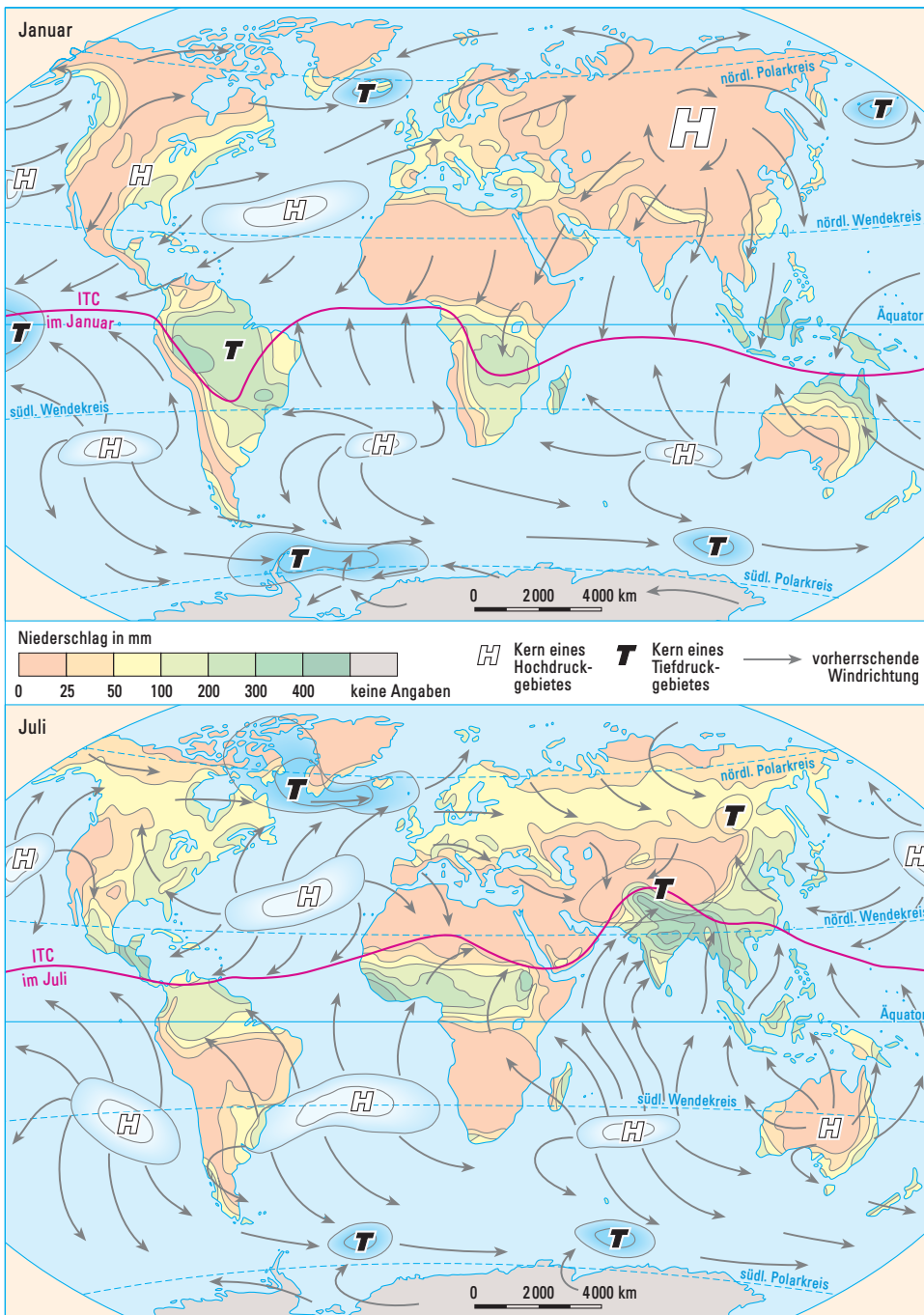
7 Tropische Westwind-Strömung (Monsun)

„Wie die Abbildung 1 auf Seite 68 zeigt, ist die Konvergenz (in der ITC) allerdings selten durch das unmittelbare Aufeinandertreffen der Passate beider Hemisphären bedingt, vielmehr findet sich in den kontinental geprägten Bereichen eine Zone tropischer Westwinde eingelagert, die mit einer Aufspaltung der ITC in einen nördlichen und einen südlichen Ast einhergeht. Dabei ist der auf der jeweiligen Sommerhalbkugel gelegene Ast der primäre (meteorologische Äquator), während der sekundäre in Nähe des mathematischen Äquators zu finden ist. Die Karte 6 zeigt die Ausdehnung der tropischen Westwindzone, wobei die nördlichen und südlichen Begrenzungen den Extrempositionen des primären ITC-Astes entsprechen. Man erkennt zum einen, dass über großen Teilen des Pazifiks und Atlantiks diese Westwindzone gänzlich fehlt, während sie zum anderen in einem äquatornahen Streifen der übrigen Gebiete sogar ganzjährig ausgebildet ist. Hintergrund ist das monsunale Zirkulationssystem der Tropen, das nach Flohn (1960) nicht etwa als kontinental vergrößertes Land-See-Wind-System verstanden werden darf, sondern auf die jahreszeitliche Verlagerung der großräumi-

gen Druck- und Windsysteme zurückzuführen ist. So bildet sich in den kontinental geprägten Bereichen im jeweiligen Hemisphärensommer aufgrund eines dominanten Druckgefälles zu den markanten, in Nähe des Zenitstands der Sonne gelegenen randtropischen Hitzetiefs nach geostrophischen Regeln die sogenannte tropische Westwindzone, in der unter Reibungseinfluss bodennah die nordhemisphärischen **SW-Monsune** bzw. südhemisphärischen **NW-Monsune** entstehen. An den Rändern dieser Zone ergeben sich Konvergenzzonen mit den Passatströmungen der beiden Hemisphären, die die beiden oben erwähnten Äste der ITC bilden. Da die randtropischen Hitzetiefs jedoch vertikal nur geringmächtig sind, erreicht auch die tropische Westwindzone meist nur eine bescheidene Vertikalerstreckung von 1 bis 3 km. Lediglich im indischen Monsungebiet werden 5 bis 7 km erreicht; dies geht vor allem auf die groß dimensionierte hochgelegene Heizfläche des Himalaya und des Hochlandes von Tibet zurück, wodurch die tropische Westwindzone in dieser Region auch ihre maximale polwärtige Ausdehnung entfaltet.“

Hans Gebhardt/Rüdiger Glaser u.a.: Geographie. Heidelberg: Elsevier, Spektrum Akad. Verlag, 2007, S. 221

2.6 Tropische Zirkulation



8 Luftdruck, Winde und Niederschlag im Januar und Juli

- 1** Erklären Sie die Entstehung der Passatzirkulation und der tropischen Monsune.
- 2** Charakterisieren Sie den Einfluss thermischer und dynamischer Druckgebiete auf die atmosphärische Zirkulation der Nordhalbkugel der Erde im Sommer und Winter (Karten 8).

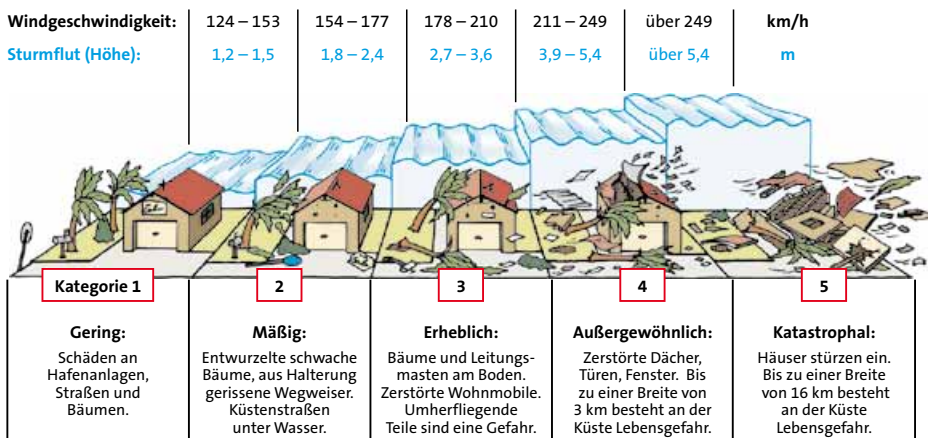
Atmosphärische Prozesse

1 Die teuersten Hurrikane

- (Versicherungsschäden in US-Dollar):
- „Andrew“, Aug. 1992 15,500 Milliarden
 - „Hugo“, Sept. 1989 4,195 Milliarden
 - „George“, Sept. 1998 2,900 Milliarden
 - „Katrina“, Okt. 2005 40,500 Milliarden

2 Die tödlichsten Hurrikane

- in Texas, 1900, 10 000 Tote bei Skala 4
- in Florida, 1928, 1836 Tote bei Skala 4
- in New England, 1938, 600 Tote bei Skala 3
- in Florida, 1935, 408 Tote bei Skala 5



4 Stärke und Folgeschäden von Hurrikanen nach den Saffir-Simpson-Skala

Hurrikane

Tropische Wirbelstürme zählen zu den größten Naturgewalten der Erde. Mit Orkanböen, sintflutartigen Regenfällen und haushohen Flutwellen hinterlassen sie an Küsten oder auf Inseln eine Spur der Verwüstung. Es sind Tiefdruckgebiete mit einem Durchmesser von 500–1 000 Kilometer und sie setzen sich aus riesigen kreisförmigen Bändern von Cumulus- und Cumulonimbuswolken zusammen, die spiralförmig um das Sturmzentrum („Auge“) kreisen.

Auf ihren Zugbahnen verfrachten sie einen großen Teil der tropischen Wärme und Feuchtigkeit über die Wendekreise hinweg in kühlere und trockenere Zonen bis hin in unsere Breiten. Im langjährigen Mittel werden in der am 1. Juli eines jeden Jahres beginnenden und am 30. November endenden Saison zehn tropische Wirbelstürme beobachtet, aus denen in der Regel sechs große Hurrikans hervorgehen.

Bezeichnungen tropischer

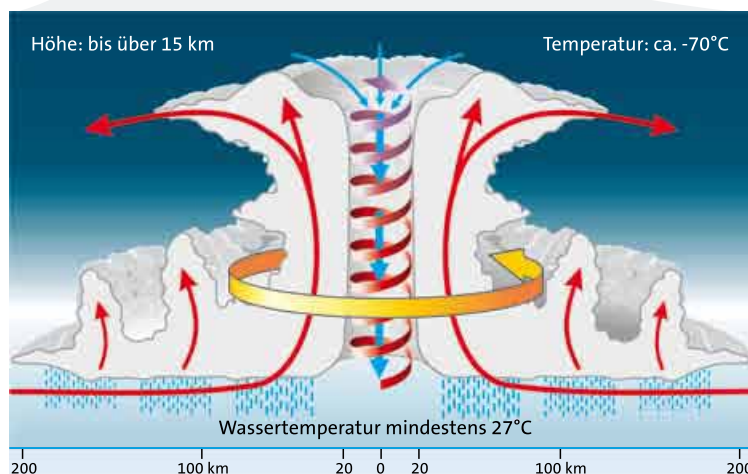
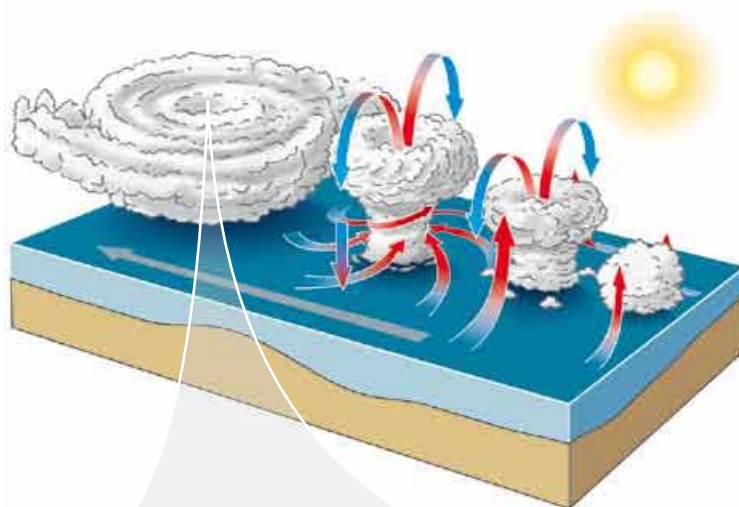
Wirbelstürme

- Hurrikane, Taifune,
- Willy-Willies, Mauritius-Orkane,
- Cordonazos, Bengalen-Zyklone,
- Monsun-Stürme

Geburt eines tropischen Wirbelsturms

Hurrikane entstehen immer über warmen Meeren mit Wassertemperaturen über 27°C. Intensive Sonneneinstrahlung lässt große Mengen Wasser verdunsten, die von warmer Luft aufgenommen werden. Auslösende Ursache der Wirbelstürme ist häufig eine konvergente Strömung, d.h. es fließen Luftmassen aus unterschiedlichen Richtungen am Südrand des Subtropenhochs zusammen. Warme und feuchte Luftmassen strömen ein, steigen auf und kühlen dabei ab. Der in der Luft enthaltene Wasserdampf kondensiert und es bilden sich hoch aufgetürmte Quellwolken.

Bei dieser Kondensation wird sehr viel Wärme frei und dem Luftraum wird ununterbrochen Energie zugeführt. Dadurch schießt immer mehr Luft in die Höhe, und zwar ringförmig um das Zentrum. Im Zentrum der Hurrikans entsteht nach einiger Zeit eine 20 bis 60 Kilometer breite, wolkenfreie, fast windstille Zone. Dort herrscht meist absteigende Luftbewegung mit Wolkenauflösung. Vorwiegend in den Monaten Juli bis November bilden sich die meisten Hurrikans, meist zwischen 10° und 20° nördlicher Breite im westlichen Atlantik, Karibik und Golf von Mexiko, niemals in Äquatornähe. Dort ist die Coriolisablenkung, welche die Luftströmungen nach rechts bzw. nach links ablenkt und die Luftmassen dadurch in eine Drehbewegung versetzt, noch zu schwach. Solange sich ein Hurrikan über warmes Meerwasser bewegt, steht genügend Energie für die Erhaltung des Wirbels zur Verfügung. Kommt der mit 15 bis 50 km/h dahin ziehende Hurrikan aber an Land, ist die Zufuhr von Energie unterbrochen, da der Regen die Temperatur des Bodens absenkt. Zusätzlich wird die Reibung des Landes wirksam. Der Hurrikan wird instabil. Dennoch reicht die Energie aus, um in küstennahen Gebieten verheerende Schäden und Überflutungen anzurichten.



5 Entwicklungsstadien und Aufbau eines Hurrikans

- 1 Unter welchen Bedingungen entstehen tropische Wirbelstürme?
- 2 Weshalb treten in Äquatornähe keine Wirbelstürme auf?
- 3 Erkläre die Entstehung von verheerenden Flutwellen, die von einem tropischen Wirbelsturm ausgehen.