

- Meeresoberflächentemperatur  $\geq 27^\circ \text{C}$
- feuchtilabil geschichtete Atmosphäre
- konvergentes Windfeld in Bodennähe
- divergentes Windfeld in der Höhe
- geographische Breite größer als  $5^\circ$  Nord/Süd
- geringe vertikale Windscherung

Die hohen Wassertemperaturen sind erforderlich, damit ausreichend Wärme- und latente Energie zur Verfügung steht. Die wasserdampfreiche Luft strömt zum Tiefzentrum hin (Konvergenz), dort steigt sie auf. Durch die Kondensation und Wolkenbildung wird in erheblichem Umfang Wärme frei, wodurch der Druck in der mittleren und höheren Troposphäre ansteigt und ein Massenabfluss einsetzt (Divergenz). Hierdurch setzt starker Druckfall am Boden ein und es wird verstärkt Luft angesaugt.

Die vertikale Windscherung des Horizontalwindes muss schwach sein, damit sich ein Aufwindbereich entwickeln kann und nicht auseinandergerissen wird. Somit intensiviert sich eine anfängliche Störung häufig rasch zum Orkan. Die Corioliskraft muss wirken können, damit sich eine Zirkulation entwickelt.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass unter  $5^\circ$  geographischer Breite die Corioliskraft hierfür nicht ausreicht. Im Gegensatz zur Sturmzyklone der Westwindzone ist der tropische Orkan ein warmes Tief mit senkrechter Achse, das seine Energie unmittelbar aus seiner Unterlage – der warmen Meeresoberfläche – bezieht. Der Energienachschub ist gewährleistet, solange sich der Wirbel über dem sehr warmen Ozean befindet.

**Merke:**

Wesentliche Voraussetzungen für die Entstehung tropischer Stürme und Orkane:

- großes Ozeangebiet
- Meeresoberflächentemperatur mindestens  $27^\circ \text{C}$
- Windkonvergenz am Boden, Divergenz in der Höhe
- geographische Breite größer als  $5^\circ$  Nord/Süd

Über Land und kälteren Meeresoberflächen sind solche Entwicklungen nicht möglich. Das heißt auch, dass der Entwicklungsprozess beim Übertritt auf Land (englisch landfall) sofort aufhört und der Orkan sich rasch abschwächt. Allerdings machen sich hier noch die sintflutartigen Regenfälle bemerkbar und

die Küsten müssen zusätzlich mit extrem hohen Sturmfluten (surges) und Wellen rechnen.

Die genannten Bedingungen weisen auf die Entstehungsgebiete und Jahreszeiten hin. Es sind dies die tropischen Weltmeere auf der Äquatorseite des subtropischen Hochdruckgürtels.

15.2 Struktur und Wirkung

Die Abbildung 15.1 zeigt schematisch einen Vertikalschnitt durch die vier Entwicklungsstufen eines tropischen Orkans mit den zugehörigen Druck- und Windverteilungen.

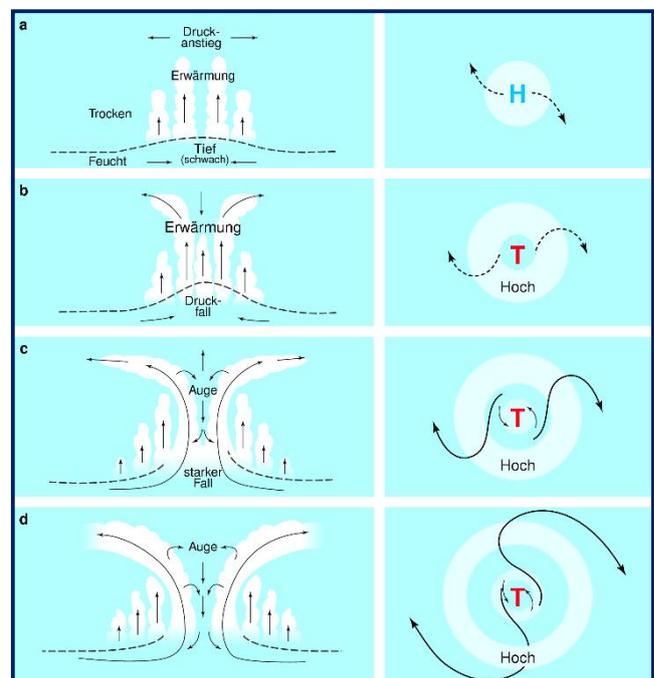


Abb. 15.1 Windverteilung in einem tropischen Orkan (schematisch), links Querschnitt, rechts Zirkulation in der oberen Troposphäre

- Häufig ist die easterly wave die Initialstörung, die durch Hebung und damit verbundenem Freisetzen latenter Energie den Entwicklungsprozess in Gang gesetzt. Es entsteht ein tropisches Tief (T.D. – Tropical Depression).
- Der Druckgradient um dieses Bodentief nimmt zu, die zyklonale Rotation wächst an. Gleichzeitig organisieren sich und wachsen Cumulonimben in spiralförmigen Bändern in die Höhe. In der oberen Troposphäre dehnt sich ein dichter Cirrus-Schirm nach allen Seiten aus. Der tropische Sturm (TS - Tropical Storm) ist geboren.
- Im weiteren Verlauf öffnet sich dieser Schirm in der Mitte. Das Auge, ein anfangs nur kleines,

wolkenfreies kreisförmiges Gebiet, entsteht, zunächst nur in der oberen Troposphäre. Dies hängt mit der starken zyklonalen Rotation der aufsteigenden Luftteilchen zusammen. In der Höhe gelangen sie in ein Gebiet schwächerer zyklonaler oder sogar antizyklonaler Drehbewegung. Durch ihre Trägheit werden sie dabei nach außen gelenkt und auf Grund dieser Dynamik entsteht auch in der Höhe ein Tief, umgeben von höherem Druck über der ringförmigen Wolkenmauer. In diesem Zustand handelt es sich meist schon um einen tropischen Orkan (Hurrikan oder Synonym).

- d) Die Luft sinkt von den Seiten im Zentrum des tropischen Orkans ab, das Auge dehnt sich nach unten aus, es entsteht ein wolkenfreies Gebiet um den Kern herum. Die Luft erwärmt sich dabei adiabatisch (um 1 K/100 m). Auf dem Höhepunkt der Entwicklung ist die zyklonale Rotation in Bodennähe so stark, dass die nach außen gerichtete Corioliskraft und die Zentrifugalkraft ein Vordringen der Luftteilchen bis zum Zentrum verhindern: das Auge hat sich dann bis zum Boden durchgesetzt.

In der horizontalen Ausdehnung lassen sich vier Regionen unterscheiden:

- **Auge**  
Vom Zentrum bis etwa 15 -25 sm. Es herrschen nur Winde bis 10 kt, meist ist es wolkenlos. Am Horizont sieht man die gewaltige Wolkenmauer; es ist warm
- **Wolkenmauer**  
Anschließend an das Auge ca. 30 bis 40 sm breit; es ist das Gebiet stärkster Konvektion, ringförmig bis zur Tropopause reichend, und mit Vertikalwinden bis 40 kt
- **innere Region**  
bis ca. 80 sm vom Zentrum, mit spiralförmigen Wolkenbändern; die Windgeschwindigkeit kann bis über 150 kt betragen, Böen sind noch wesentlich höher; die radiale bzw. Einströmkomponente der Windgeschwindigkeit beträgt 10 bis 20 kt
- **äußere Region**  
80 bis 220 sm vom Zentrum; die Windgeschwindigkeit nimmt nach außen hin ab

Die Abbildungen 15.3 I-V zeigen die Entwicklungsphasen des Hurrikans „Dean“ 2007 von der Initialstörung (easterly wave) bis zum Hurrikan der Kategorie 5 in einer Satellitenbildserie. Es sind Einzelaufnahmen aus einem Satellitenbildfilm des DWD, der die Entwicklung und die Zugbahn von „Dean“ eindrucksvoll darstellt.

Siehe [www.dwd.de](http://www.dwd.de):

Start → Wetter+Warnungen → Satellitenwetter  
→ Interessante Satellitendaten → Hurrikan Dean

Die westwärts wandernde easterly wave (Abb. 15.2) ist an einem zyklonalen zu höheren Breiten hin ausgerichteten Strömungsmuster zu erkennen. Bei Annäherung der Trogachse sinkt die Luft mit Wolkenauflösung ab (Divergenz). Nach Durchgang herrscht Konvergenz mit einem Wolkencluster und konvektiven Regenfällen, vor allem über Land auch mit Gewittern. Einige dieser Wellen entwickeln sich zu einem tropischen Sturm oder Orkan.

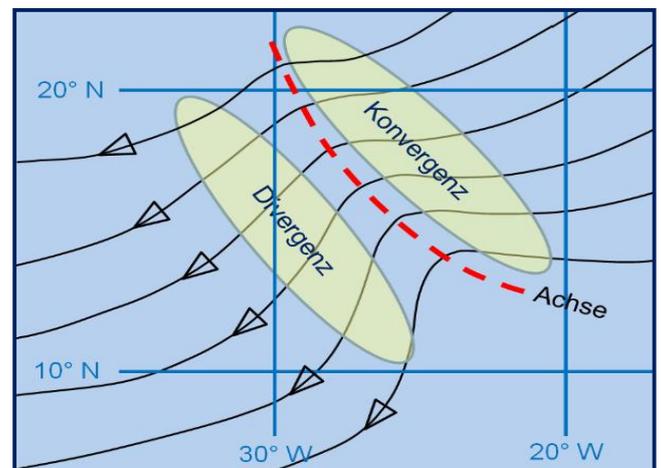


Abb. 15.2 Struktur einer easterly wave

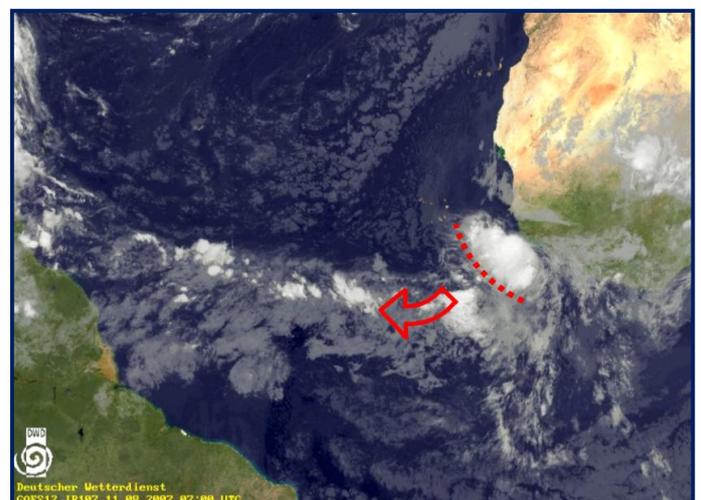


Abb. 15.3 I Easterly wave 11.8.2007 15 UTC – siehe Text a)