

Wasser, Sonne

DIE ATMOSPHERE

Die Lufthülle der Erde besteht aus einer Reihe von Schichten, in denen sich jeweils ganz bestimmte Vorgänge abspielen. Die unterste Schicht heißt **Troposphäre**, ihre obere Grenzschicht **Tropopause**. Das Besondere an der Troposphäre ist das Wasser; Wasser kommt in den höheren Atmosphärenschichten nicht mehr vor.

Deshalb spielt sich auch das gesamte Wettergeschehen in der Troposphäre ab, denn ohne Wasser gibt es kein Wetter.

Die Höhe der Troposphäre ist von der Sonneneinstrahlung abhängig. Weil warme Luft sich ausdehnt, hat die Troposphäre über den besonders heißen Teilen der Erde eine Höhe von etwa 17 km. Über den Polargebieten hingegen ist die Troposphäre nur noch etwa 8 km hoch.

Und in unseren Breiten ist die Troposphäre im Sommer höher als im Winter.

1

WASSER

... ist der Ursprung allen Lebens. Auch das Wettergeschehen ist ohne Wasser nicht möglich. Wasser tritt in der Atmosphäre in drei Aggregatzuständen auf:

- fest: als Hagel, Graupel oder Schnee,
- flüssig: als Regen oder Nebeltröpfchen,
- gasförmig: als durchsichtiger Wasserdampf.

Die Menge des in der Luft enthaltenen Wasserdampfs wird als **Luftfeuchte** bezeichnet. Weil warme Luft viel, kalte Luft hingegen nur wenig Wasserdampf aufnehmen kann, verändert die Luft mit der Temperatur auch ihre Feuchte. Erwärmung trocknet Luft (Haarfön), Abkühlung macht sie feucht (Beschlagen von Scheiben).

DIE SONNE

Die Sonne ist der Energielieferant für das Wettergeschehen.

Bekanntermaßen erwärmt sie die Erde nicht gleichmäßig. Daher bilden sich Luftmassen unterschiedlicher Temperatur, z. B. subtropische Warmluft- und polare Kaltluftmassen.

Luftmassen unterscheiden sich aber nicht nur in puncto Temperatur, sondern auch in Druck und Feuchte. Energiereich sind warme, feuchte Luftmassen, die unter hohem Druck stehen. Kalte, trockene Luftmassen von geringem Druck sind energiearm. Der Ausgleich der Energie verursacht großräumige Luftzirkulationen und damit das Wettergeschehen.

Luftdruck

DER LUFTDRUCK

Der **Luftdruck** entsteht durch das Eigengewicht der über der Erdoberfläche liegenden Luft. Er wird in **Hektopascal (hPa)** angegeben. Der Normaldruck beträgt 1013 hPa. Dies ist der Druck einer 10,13 m hohen Wassersäule und entspricht dem Gewicht, das durch 1013 g auf 1 cm² ausgeübt wird.

Intensive Sonneneinstrahlung erwärmt die Luft. Dadurch dehnt sich die Luft aus und steigt auf, wodurch der Luftdruck am Boden abnimmt. Die aufgestiegene Luft strömt in der Höhe ab und sinkt an anderer Stelle wieder zur Erde. Dabei nimmt der Luftdruck zu.

Wichtig: Beim Aufstieg und beim Absinken verändert die Luft auch ihre Temperatur. Während des Aufstiegens nimmt die Lufttemperatur in wolkenloser Atmosphäre um etwa 1°C je 100 m Höhenunterschied ab; gleichermaßen erwärmt sich absinkende Luft. Beim Aufstieg passiert also zweierlei:

- Der Luftdruck am Boden sinkt.
- Die aufsteigende Luft kühlt ab und wird feucht; es bilden sich Wolken.

Steigt die Luft nahezu senkrecht und damit relativ schnell auf, so entstehen Cumulus-Wolken. Steigt die Luft langsam auf (z. B. an einer schiefen Ebene), so bilden sich Schichtwolken - auch als Stratus-Wolken bezeichnet).

Ein Absinken von Luft dagegen hat in der Regel zur Folge, daß

- der Luftdruck am Boden ansteigt,
- sich die absinkende Luft erwärmt, trocknet und daß sich die Wolken auflösen.

SONNENSCHNEIN

Weil es auf dem Wasser kühler ist als an Land, neigt die Luft dort zum Absinken. Dabei trocknet sie, und die Bewölkung lockert auf. Über dem wärmeren Land jedoch tendiert die Luft zum Aufsteigen. Dadurch wird sie feucht, was die Wolkenbildung einleitet.



Cumulus-Wolken sind stets Zeichen eines schnellen Aufstiegs von Luft.



Stratus-Wolken entstehen nur bei langsamem Aufstiegs von Luft.

Im Frühsommer wird es an Land recht warm, während das Wasser noch kalt ist. Dann steigt Luft über Land auf, ein **Hitzetief** entsteht.

In der Höhe strömt die aufgestiegene Luft über das kühlere Meer und sinkt dort nieder. Es bildet sich ein **Kältehoch**. Aus dem Hoch, also vom Meer, weht Seewind an die Küste.

WARMES HOCH

Seewind kann in unseren Breiten Windstärke Bft. 4 - 5 erreichen, wenn die Temperaturdifferenz zwischen Wasser und Land besonders groß ist. Der Seewind erstreckt sich dann 10 bis 15 Seemeilen weit vor die Küste.

Sobald die Sonneneinstrahlung nachläßt, also zum Abend hin oder wenn sich größere Wolkenfelder bilden, schwächt sich auch der Seewind ab, und die **Abendflaute** kommt.

MILCHIGER HIMMEL

... und mäßige Sicht kennzeichnen ein warmes Hoch. Das gute Wetter dauert an.

Bei wolkenloser, windstiller Nacht jedoch wendet sich das Blatt. An Land gehen die Temperaturen deutlich zurück. Das Wasser aber kühlt kaum ab, so daß die Luft über dem Wasser aufsteigt und an Land zu Boden sinkt. Nach demselben Prinzip entwickelt sich nun **Landwind**, der jedoch kaum mehr als 2 Windstärken erreicht und auf einen Streifen von 2 - 5 Seemeilen vor der Küste begrenzt ist. Am Ende der Nacht, vor Sonnenaufgang, erreicht der Landwind seine größte Stärke.

Mit der Erwärmung des Landes endet auch der Landwind. Bald setzt wieder Seewind ein - zuerst in unmittelbarer Küstennähe, schwach und auf 50 bis 100 Meter Höhe begrenzt, aber mit zunehmender Erwärmung des Landes

KALTES HOCH

wieder stärker werdend.

Seewind tritt nur bei stabiler Hochdrucklage auf, wenn also keine stärkeren Luftbewegungen vorhanden sind. Als **Hochdruckgebiet**, auch **Hoch** oder **Antizyklone** genannt, wird ein Gebiet relativ hohen Drucks bezeichnet. Es entsteht häufig aus absinkender Kaltluft, die sich erwärmt und dabei trocknet. Man unterscheidet zwei Hochdrucktypen,



Milchiger Himmel und diesige Sicht sind Zeichen einer stabilen Hochdrucklage (warmes Hoch).

Tiefs

WARMES TIEF

Als **warm** wird ein Tief bezeichnet, welches durch aufsteigende Warmluft entsteht. Es charakterisiert den Entstehungsprozeß der Zyklone und heißt auch flaches Tief.

Ein warmes Tief hat je eine aktive Warm- und Kaltfront (s. Seite 15).

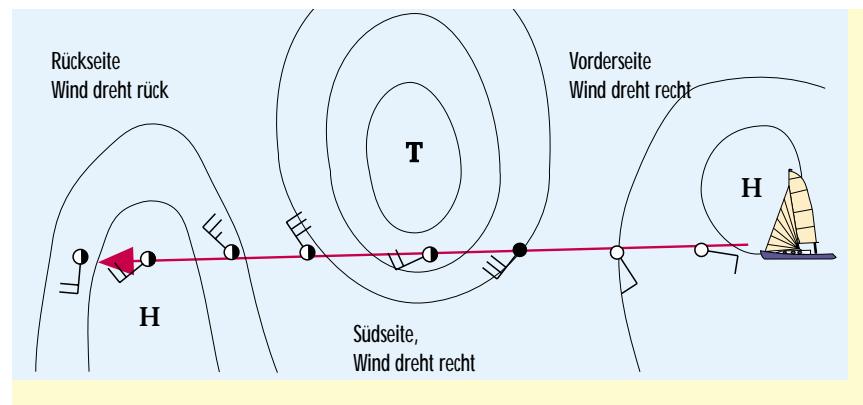
KALTES TIEF

Das **kalte Tief** ist der Endzustand der Tiefdruckentwicklung. Kalte Tiefs, die auch umfangreiche Tiefs genannt werden, ziehen sehr langsam - auf der Nordhalbkugel meistens nach NE bis N, wobei ihre Zugrichtung durch warme Hochs abgelenkt werden kann. Jedes Tief bringt schlechtes Wetter (kühle Luft im Sommer, milde im Winter). Tritt in seinem Einflußbereich verbreitet Windstärke Bft. 8 auf, so heißt es **Sturmtief**, ab Bft. 10 **Orkantief**. Ein Tief mit nur einer geschlossenen Isobare wird als **flaches Tief** bezeichnet.

Das **Randtief** ist ein kleineres Tief, das am Rand eines gealterten Zentraltiefs entsteht und dieses häufig zyklonal umkreist. Dabei dreht es sich viel schneller als das Muttertief und kann sich mit ihm schließlich vereinigen.

Ein **Teiltief** bildet sich stets in Lee eines Gebirgszuges (z. B. Alpen). Dort sinkt die Luft zunächst ab. Die damit

verbundene vertikale Streckung führt zur Dichte- und somit zur Druckabnahme in Lee. Schwenkt zusätzlich eine Kaltfront über das Gebirge, entsteht eine Luftmassengrenze in Lee und damit ein neues Tief (Teiltief) mit Warm- und Kaltfront. Beispiele für Teiltiefs sind das **Skagerraktief**, das **Genuatief**, das **Adriatief** (Alpen) und das Tief südlich Grönlands.



Windverhältnisse bei einem für Nord- und Mitteleuropa typischen Durchgang eines jungen Tiefs (nördlich vom Beobachter). Die Bewegung des Tiefs ist an rechtdrehendem Wind erkennbar. E-licher Wind dreht zunächst auf S-liche Richtungen, wechselt im Tief auf SW und auf seiner Rückseite auf NW.

ENTSTEHUNG VON GEWITTERN

Voraussetzung für die Bildung von Gewittern ist eine **labil geschichtete Troposphäre**. Dies bedeutet, daß die Lufttemperatur mit zunehmender Höhe stark abnimmt. Wenn dann eine Luftmasse angehoben wird, ist sie stets deutlich wärmer als ihre Umgebung, und sie wird daher ihren Aufstieg mit wachsender Geschwindigkeit fortsetzen.

In einer voll entwickelten Gewitterwolke (Cumulonimbus) kann Luft mit über 100 km/h bis zu 15 km hoch „emporschießen“. Die sich dabei bildenden Wassertropfen zerstäuben und gefrieren, wobei gleichzeitig eine Ladungstrennung erfolgt:

Positiv geladene Tröpfchen gelangen in den oberen Teil der Wolke, negativ geladene sammeln sich unten.

Bald einsetzende Entladungen zwischen Wolken bewirken **Wolkenblitze**, Entladungen zwischen Wolken und Erde verursachen **Erdblitze**.

ARTEN VON GEWITTERN

Wärmegewitter entstehen durch Hebung überhitzter, feuchter Bodenluft. An Land treten sie zumeist in den Nachmittagsstunden schwüler Sommertage auf und kündigen oft das Ende einer Schönwetterperiode an. Auf See können sie nur über sehr warmem Wasser auftreten, also z. B. im Spätsommer auf dem Mittelmeer, wenn nachts die Luft stark abkühlt. Hochdrucklagen schließen Wärmegewitter aus, da in der Höhe vorherrschende Absinkbewegungen ein nachhaltiges Aufsteigen von Luft verhindern.

Frontgewitter sind Folge einer kräftigen, raschen Hebung oder turbulenten Umlagerung von feuchter Warmluft. Sie kommen meistens an (den stärker geneigten) Kaltfronten vor, nur selten - und dann auch schwächer - an Warmfronten. Frontgewitter erstrecken sich auf ein größeres Gebiet als Wärmegewitter. Sie entwickeln sich in einer Art Kettenreaktion an der Front entlang. Bei **orographischen Gewittern** erfolgt die Hebung durch Berge.

ENTWICKLUNG UND ABLAUF

Wärmegewitter durchlaufen drei gut unterscheidbare **Entwicklungsstadien**:

- das Cumulus- oder Aufbaustadium,
- das Cumulonimbus- oder Reifestadium und
- das Auflösestadium.

Intensive Sonnenstrahlung erhitzt bodennahe, feuchte Luftschichten, welche aufsteigen und abkühlen. Aus kleinen Cumuluswolken entwickelt sich schnell eine aufgetürmte Quellwolke (Cumulus congestus), in der die Vertikalbewegung Geschwindigkeiten von bis zu 100 km/h erreichen. Nachströmende Luft wird von unten und den Seiten angesaugt.

Mit zunehmendem Wachstum entwickelt sich eine mächtige **Cumulonimbuswolke**, die bis an die Tropopause reicht. Dort oben fließt die mit Eiskristallen versetzte Kaltluft horizontal ab und erzeugt dadurch die typische Amboßform.

Gewitter

Gleichzeitig setzt das eigentliche Gewitter mit Blitz, Donner und heftigem Niederschlag ein. Dieser entsteht zuerst an der Vorderseite des Gewitters, wo sich ein starker Abwind bildet, der die Niederschlagsteilchen mit zu Boden reißt und Böen bis Orkanstärke hervorrufen kann (Böenkragen). Im **Auflösestadium** regnet sich die Wolke ab und versiegt.

VERHALTEN BEI GEWITTERN

Als gefährlichster Teil einer Gewitterzelle wird das **Hagelgebiet** angesehen, das sich in den meisten Fällen auf der linken Rückseite eines nahenden Gewitters befindet. Wenn versucht wird, einem Gewitter auszuweichen, sollte man daher nach Steuerbord ablaufen, das Gewitter also an der Backbordseite des Schiffes lassen.

Eine Vorhersage der bei einem Gewitter zu erwartenden mittleren **Böengeschwindigkeit** ist dagegen mit Bordmitteln kaum möglich. Daher sollte eine

Gewitterzelle möglichst großräumig umfahren werden. Die Zugrichtung eines Gewitters kann an den mittelhohen Wolken bestimmt werden.

BLITZE, DONNER

Blitze sind Funken (Entladungen) sehr großen Ausmaßes. Blitze laufen ruckweise durch einen oft zickzackförmig verzweigten **Blitzkanal**, der durch schwächere Vorentladungen zuvor auf-

gebaut wurde. Der nur wenige Zentimeter große Blitzkanal wird häufig von mehreren Blitzen genutzt. Die von einem Blitz getroffene Luft dehnt sich infolge großer Hitze (bis 40 000° C) explosionsartig aus. Dadurch entsteht eine Druckwelle, die in der Nähe des Blitzes als starkes Krachen, in mittlerer Entfernung als **Donner** und weit entfernt als Rollen zu hören ist. Donner und Rollen werden durch die Reflexion der Schallwellen an Wolken hervorgerufen; sie können bis zu 30 km weit hörbar sein.



Gewitterwolke im Reifestadium (mit viel Wasser in der Wolke)

Trog

Zu den schwersten und gefährlichsten Stürmen außerhalb der Tropen gehören die Orkane im Zusammenhang mit Trögen. Ein Trog kann auf der Rückseite einer gut entwickelten, okkludierten Zyklone entstehen, bei welcher die Okklusionsfront bereits den Tiefkern umrundet hat (sich also nördlich oder westlich des Kerns befindet). Er wird daher auch **Rückseitentrog** genannt. In der zugehörigen Wetterkarte fällt auf, daß hinter der Kaltfront der typische Isobarenknick fehlt, diese vielmehr breitgefächert weiterlaufen; das Druckgefälle nimmt also ab.

Ein zuverlässiges Indiz für eine bevorstehende Troglage ist daher eine **Flautefront**. Nach dem Durchgang der Kaltfront frischt der Wind weder auf noch dreht er stark recht. Stattdessen nimmt er ab und dreht allenfalls ein wenig recht, einige Stunden später rückt. Der Flautefront kann etwa 12 Stunden später ein Trog folgen.

In einer Troglage schließt sich dem Durchgang der Flautefront eine 2- bis 8-stündige **Aufheiterungsphase** mit

einem erneuten Aufzug von Cirren, Cirrostratus, Altostratus und starker Quellbewölkung (Cumulonimbus) an. Der Wind dreht meist auf SW bis S rück und wird mit einsetzender Quellbewölkung böig. In der Trogachse ist sogar kurzzeitig Windstille möglich.

Dann folgt ein „Hammer“: Eine Winddrehung auf NW bringt Böenwalzen bis Orkanstärke (bis zu Bft 4 über dem Mittelwind). Vom Tiefkern aus verläuft durch die Punkte der stärksten Isobarenkrümmung die **Trogachse**, die den eigentlichen Trog darstellt. Hier erreicht die Druckkurve ihren Tiefpunkt; mit dem Druckanstieg steht der heftigste Teil des Sturms bevor. Zwar dreht der Wind um bis zu 90° recht (s. Isobarenverlauf), aber die Trogachse ist keine Kaltfront.

Es bilden sich infolge der beiden Starkwindssysteme vor und hinter der Trogachse zwei verschiedene Wellensysteme, deren Überlagerung zu äußerst gefährlichen **Kreuzseen** führen kann - die größte Gefahr des Trogorkans!

17



Regattayacht in einem Trogsturm (Fastnetrennen)

