



Unterrichtsmaterialien zum Thema

Im Auge des Sturms

JAHRGANGSSTUFE 7–9

Material für SchülerInnen

Aufgaben

0. Vorbereitende Hausaufgabe:

Lade dir die App „Columbus Eye“ im Google Play Store oder im Apple App Store herunter. Die App benötigt den Kamera- und Dateizugriff, um zu funktionieren. Es werden keine persönlichen Daten gesammelt. Öffne die App und lade dir zusätzlich den Part „Im Auge des Sturms“ herunter.

In diesem Arbeitsblatt sollen alle als **Marker** bezeichneten Abbildung in der App verwendet werden.



1. Erkläre, in welche Richtung sich der Taifun Maysak dreht und nenne dabei die Kraft, welche maßgeblich für die Drehrichtung verantwortlich ist. [App, M1 bis M5, S. 3-7].
2. Erkläre, warum die Luft im Auge des Taifuns wärmer ist. [M2, S. 4].
3. Nenne die Skala, mit der die Stärke eines Taifuns gemessen wird.
4. Nenne mindestens zwei Voraussetzungen, die erfüllt sein müssen, damit ein Taifun entsteht.
5. In M5 ist eine Wetterkarte vom 27.03.2015 18 Uhr UTC (Coordinated Universal Time).
 - a) Zeichne unter Zuhilfenahme von M4 und der App grob die Zugbahn des Taifuns auf dem Lösungsblatt ein.
 - b) Berechne anhand des Maßstabs die zurückgelegte Strecke des Taifuns.
 - c) Berechne anhand des Maßstabs die durchschnittliche Zuggeschwindigkeit des Taifuns.

M1: Einleitung und Wetterkarten

Am 5.4.2015 hat der Taifun Maysak die Philippinen heimgesucht. Der Sturm war so groß, dass er von der Internationalen Raumstation (ISS) aus beobachtet werden konnte. Material 2 beschäftigt sich insbesondere mit dem Aufbau eines tropischen Zyklons. Material 3 und 4 beinhalten eine schematische Zeichnung eines Taifuns und eine Wetterkarte. Mit der App „Im Auge des Sturms“ kannst du dir u. a. ein Video des Taifuns - aufgenommen von der ISS - anschauen. Starte dazu die App und gehe mit der Kamera deines Smartphones über Abbildungen 1 und 2 von Material 4 und schau dir an, was passiert. Die Lösung zu den Aufgaben kannst Du am Ende des Arbeitsblatts in die entsprechende Grafik auf dem karierten Papier eintragen.

Wetterkarten

In der Karte in Abb. 1 des Materials 3 zeigen die weißen Linien, die sogenannten Isobaren (Linien gleichen Luftdrucks), den Luftdruck am Boden. Durchschnittlich liegt dieser bei 1013 Hektopascal (hPa). Neben dem Bodenluftdruck in weiß sind auch Höhenlinien gleichen Luftdrucks (schwarze Isolinien, Isohypsen) eingezeichnet. Isohypsen geben die Höhe über dem Boden (NN) in Dekametern (1 dam = 10 m) an, in der ein bestimmter Luftdruck – in diesem Fall 500 hPa – vorherrscht. Diese Höhenangaben lassen sich einfach durch Multiplikation mit 10 in Meter umrechnen. Einige Höhenwetterkarten geben auch die Lufttemperatur (oft farbige Darstellung) für eine definierte Höhe, z. B. 500 hPa, an. In dieser Abbildung wird jedoch nicht die Temperatur in Farbe dargestellt, sondern die sogenannte „relative Topographie“ zwischen Boden- und Höhendruckniveau. Die Einheit ist auch hier Dekameter. Die relative Topographie gibt an, wie mächtig oder „dick“ die Luftschicht innerhalb eines Druckniveaus ist. Da sich wärmere Luft stärker als kältere ausdehnt, sind warme Luftschichten mächtiger als kältere. Im Grunde lässt sich die bunte Darstellung mit Bergen und Tälern auf einer (topografischen) Landkarte vergleichen.

M2: Welt der Synoptik, Autor: Mike Rosin

Das Auge

Das Auge eines Hurrikans ist vielleicht das bekannteste und faszinierendste Merkmal eines Hurrikans und steht oft als Sinnbild für die Zerstörungskraft eines tropischen Zyklons. Das Auge selbst stellt für den Menschen an Land keine direkte Gefahr dar, hier herrschen überwiegend leichte, kaum wahrnehmbare Winde - selten tritt eine starke Böe aus der Augenwand (engl. eyewall) aus. In besonderen Fällen kann man im Auge sogar die Sonne bzw. den Himmel bei Tag und die Sterne bei Nacht erkennen. Dieser freundliche Wettereindruck wird sich wenig später zwangsweise mit Passage der eyewall - ein Gürtel aus kräftigster Konvektion [meist Gewitter] um das Auge - ändern. Der Durchmesser des Auges variiert von 8 bis 200km, durchschnittlich werden etwa 30 bis 60km Durchmesser vermessen.

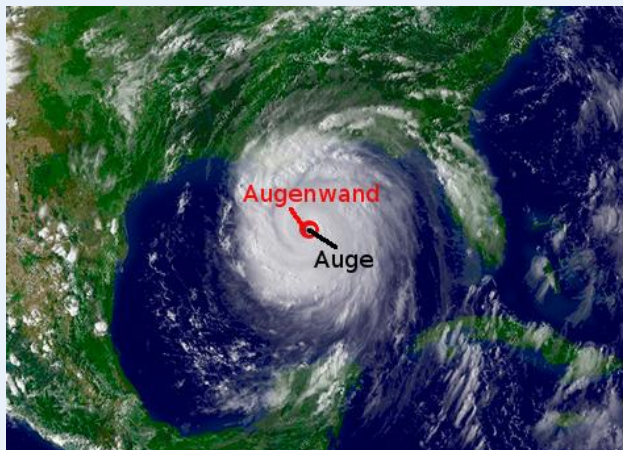


Abb. 1: Augenwand und Auge von Hurrikan Katrina am 28.05.2005 (NOAA)

Um die Entstehung des Auges und damit eines Hurrikans zu verstehen, betrachten wir zuerst die Zirkulation an den Spiralbändern. In den Spiralbändern werden feucht-warme Luftmassen an einer Bodenkonvergenz nach oben gebracht und kondensieren aus. In der Höhe strömt diese Luft zu den Seiten aus und erwärmt sich in Folge leichten Absinkens am Outflow. Die ausströmenden Luftmassen nehmen um das Zentrum den engsten Raum ein, entsprechend stellt sich der größte Temperaturgradient ein. Nun verstärkt sich zunehmend die Primärzirkulation des Hurrikans, genauer genommen sinkt die Luft, die mit dem Aufwind der Konvektion nach oben gebracht wurde, im Auge nach unten.

Unter Absinken verdichtet sich die Luftsäule, an der Luft wird Kompression ausgeübt. Sobald eine Luftsäule komprimiert wird, setzt Erwärmung ein und die Luftfeuchte nimmt ab. Die Luft im Auge ist somit wärmer und trockener als ihre umgebenden Luftmassen, wobei der Temperaturgradient zur eyewall mit der Höhe variiert. In der obersten Schicht der Troposphäre existiert typischerweise eine Antizyklone, hier existiert der größte Temperaturgradient mit bis zu 10K Temperaturunterschied zur Umgebung. Je niedriger die Höhe, desto mehr nimmt der Temperaturunterschied zwischen eye und eyewall ab, letztendlich bis auf etwa 0-2K über der Oberfläche. Entsprechend verwischt die Charakteristik von trocken-warmer Luft, sodass über den bodennahen Schichten (etwa 1-3km) sogar feuchte Eigenschaften wieder dominieren. Im Auge selbst dominiert also der Effekt des Absinkens, wobei die Zentrifugalkraft die absinkenden Luftmassen aus dem Zentrum drückt. (Quelle: <http://www.syn-optische-meteorologie.de> © Welt der Synoptik | Autor: Mike Rosin)



Abb. 2: Im Auge von Hurrikan Katrina 2005 (NOAA)

M3: Aktion Deutschland hilft – Die Entstehung eines Wirbelsturms

DIE ENTSTEHUNG EINES WIRBELSTURMS

Wirbelstürme entstehen über tropischen Meeren mit Wassertemperaturen von mindestens 26,5°C. Feuchtwarme Luft über der Wasseroberfläche steigt auf und bildet mächtige Wolkentürme.

Durch die aufsteigende warme Luft entsteht am Boden niedriger Luftdruck. Dadurch wird warme und feuchte Luft aus allen Richtungen angezogen.

Erst durch die einsetzende Drehbewegung der Luftmassen - hervorgerufen durch die Erdrotation - beginnt der Sturm zu rotieren und ein Wirbelsturm entsteht.



Wirbelstürme tragen je nach Region in der sie auftreten unterschiedliche Namen:
Hurrikan: Atlantik und Nordpazifik
Taifun: Westpazifik
Zyklon: Indischer Ozean

Im Auge des Wirbelsturms sinkt kalte, trockene Luft ab.

Höhe: 10-15 km

Es steigt spiralförmig feuchtwarme Luft auf.

Ø 20 - 70 km

Im Auge ist es fast windstill.

Um das Auge kreisen gewaltige Stürme: Die Rotationsgeschwindigkeit kann über 300 km/h betragen.

Ø 500-600 km

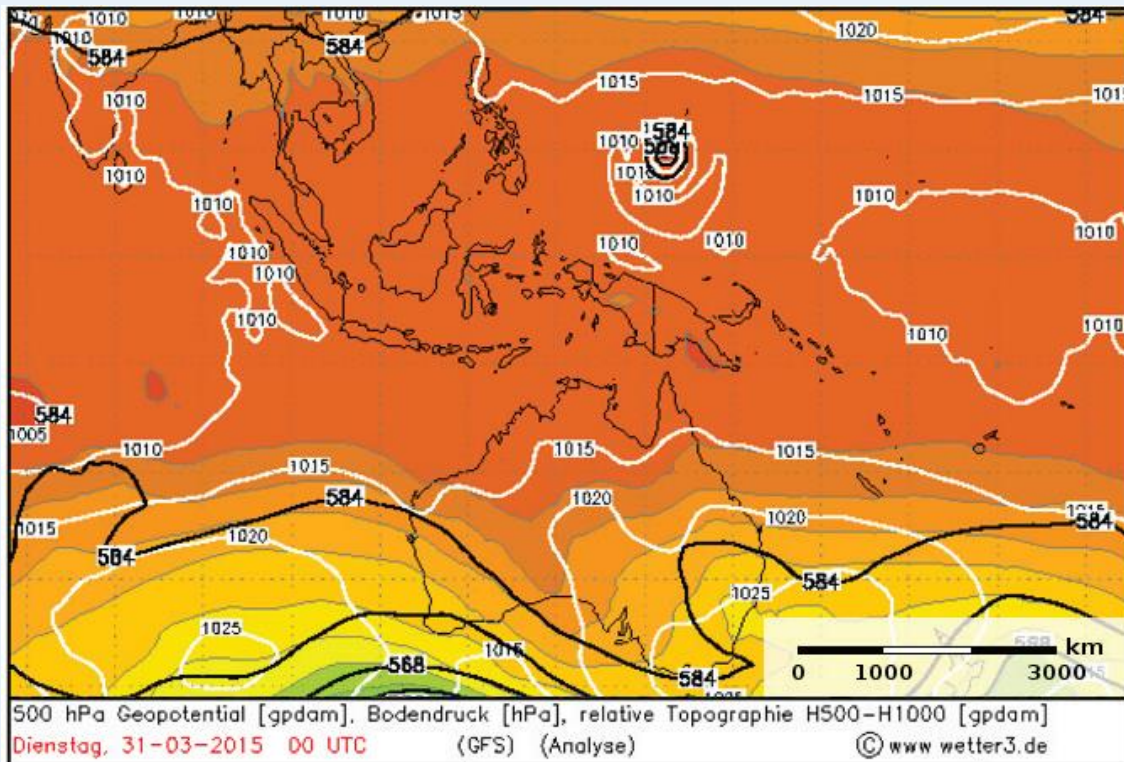
Saffir-Simpson Skala (gibt die Stärke eines Wirbelsturms und das damit zusammenhängende Zerstörungspotenzial an)

Kategorie	Wind-geschwindigkeit	Sturm-wellen	mögliche Schäden
1	119-153 km/h	1-1,5 m üNN	Geringe Schäden: Keine schweren Schäden an Gebäuden, betroffen sind Bäume und nicht befestigte Objekte
2	154-177 km/h	2-2,5 m üNN	Mäßige Schäden: Schäden an Dächern, Türen und Fenstern, beträchtliche Schäden an Hütten, Pieranlagen und im Pflanzenreich
3	178-209 km/h	2,5-3,5 m üNN	Starke Schäden: stärkere Schäden an Hütten und kleinen Gebäuden, Überflutungen in Küstennähe
4	210-250 km/h	3,5-5 m üNN	Extreme Schäden: eingedrückte Außenwände, zerstörte Dächer, schwere Schäden in Küstennähe
5	> 250 km/h	> 5 m üNN	Katastrophale Schäden: Zerstörung von Häusern und Brücken, schwerste Schäden an Objekten (< 5m über Meeresniveau) die weniger als 500m von der Küstenlinie entfernt sind

Die Wassertemperatur muss bis in eine Tiefe von 50 m höher als 26,5°C sein.

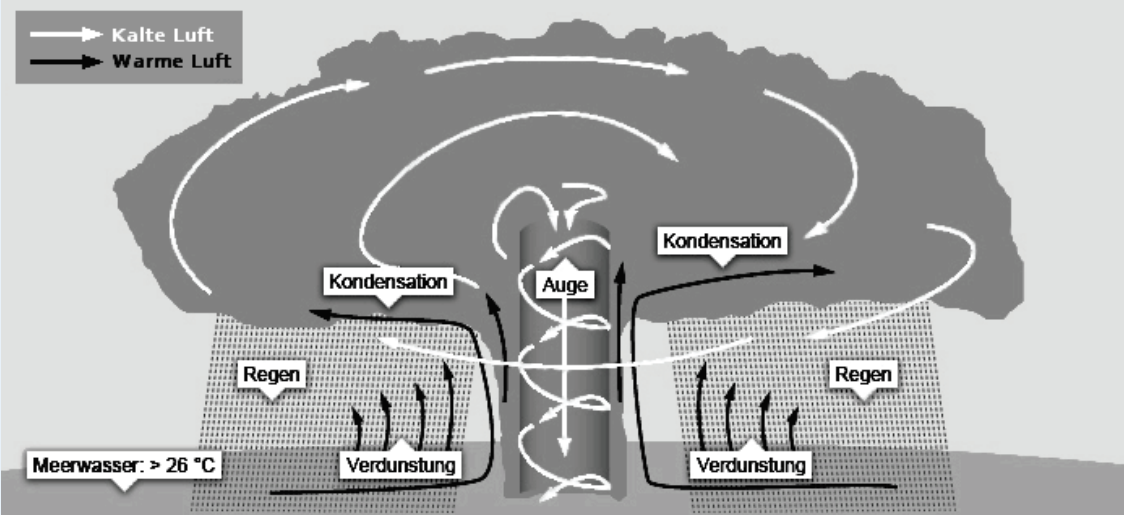
Abb. 3: Die Entstehung eines Wirbelsturms

M4: Taifun in der Wetterkarte und als Schemazeichnung



Marker 1: Wetterkarte des Taifuns Maysak, AR: Wetterkarten vom 27.03.2015 bis 04.04.2015

Querschnitt durch einen tropischen Wirbelsturm



Marker 2: Querschnitt durch einen tropischen Wirbelsturm, AR: Überflug eines tropischen Wirbelsturms (Bildquelle: DW)

M5: Deutscher Wetterdienst – Tropische Zyklonen



Deutscher Wetterdienst

Tropische Zyklonen (TCs)

TCs können nur in bestimmten Regionen der Erde entstehen, nämlich überall dort, wo hohe Wassertemperaturen ($\geq 27^\circ\text{C}$) und feucht-warme Luftmassen vorherrschen. Außerdem muss die ablenkende Kraft der Erdrotation (Corioliskraft) ausreichend groß sein, damit sich die TC-Keimzelle (tropisches Tief, was zumeist aus einer Ansammlung von Gewitterclustern hervorging), verstärken kann. Somit kann es in unmittelbarer Äquatornähe keine TCs geben, da hier die Corioliskraft gleich Null ist (Folge: Die Reibungskomponente des Windvektors führt dazu, dass sich am Äquator nur flache Bodentiefs halten können).

Auf der Erdoberfläche werden die TCs in drei Typen, entsprechend ihrer Stärke unterteilt:

Tropische Depression: (Abkürzung: T.D., gültig ab $v_{\text{max}} = 17$ Knoten und geschlossener Zirkulation),

Tropischer Sturm: (Abkürzung: T.S., gültig ab $v_{\text{max}} = 35$ Knoten, Umrechnung zu km/h: mal 1,85),

Tropischer Orkan: (Abkürzungen: HU, TY, ZY, gültig ab $v_{\text{max}} = 64$ Knoten)

(Windgeschwindigkeits-Schwellenwerte gelten für mit v_{max} -Messungen des 1-Min-Windgeschwindigkeitsmittels) Der stärkste TC-Typ (Tropischer Orkan) erhält in den Regionen der Erde, die von den TCs heimgesucht werden, traditionell hauptsächlich drei unterschiedliche Bezeichnungen:

- In der Nordostpazifik- und Nordatlantikregion sind die Tropischen Orkane als Hurrikan (HU) bekannt.
- Auf der Südhalbkugel und im indischen Raum werden die Tropischen Orkane als Zyklon (ZY) geführt.
- In der NW-Pazifikregion existiert neben der Taifunbezeichnung (TY) auch der Begriff des Supertaifuns (STY, v_{max} ab 130 Knoten) und der des Baguios (Philippinenregion). Die Tropischen Orkane können anhand der Saffir-Simpson-Skala in verschiedene Stärkekategorien (1 bis 5) unterteilt werden (Kategorie 5 ab $v_{\text{max}} = 135$ Knoten).

Die TCs können eine Ausdehnung von einigen hundert Kilometern erreichen. Der stärkste TC-Typ (Tropischer Orkan) zeichnet sich zumeist durch die Ausbildung einer zentralen Wolkenöffnung, Auge (engl. Eye) genannt, aus, wo weitgehend störungsfreies Wetter vorherrscht (Absinkbewegungen bedingen Wolkenauflösung). Die relativ schwache Reibungskraft an der Wasseroberfläche ist nicht groß genug, um den Weg der Luftmassen direkt ins Zentrum abzulenken. Dort entsteht dann das Auge, welches einen Durchmesser bis rund 20 Kilometern aufweisen kann. Eine Verringerung des Augendurchmessers ist meistens ein Zeichen für eine TC-Intensivierung.

Die dreidimensionale Form des Luftdruckfeldes eines Tropischen Orkans, und damit auch eines "Taifuns" ähnelt derjenigen eines überdimensionalen Trichters, wobei das Auge den Trichtergrund und der Augenwall die Trichterwand (stärkste Neigung der Luftdruckflächen) darstellen. Der auf den Trichtergrund vorherrschende Luftdruck kann bei den stärksten Tropischen Orkanen auch die 900-hPa-Grenze unterschreiten (zum Vergleich Luftdruckmittelwert Mitteleuropa: 1013,5 hPa).

Innerhalb einer TC ereignen sich die zerstörerischsten Unwetter in unmittelbarer Nähe des Auges, im sogenannten Augenwall (engl. Eye-wall). Dort existiert ein ungeheurer Luftdruckgradient und somit unvorstellbar hohe Windgeschwindigkeiten, wobei die Windspitzen bei einem Supertaifun oder einer Category-5-TC auch 300 km/h überschreiten können. Unter den Wolkengebirgen des Augenwalls und der Spiralarme der tropischen Wirbelstürme treten die intensivsten Starkregenfälle des gesamten TC-Wettersystems auf. Ergießen sich die Wassermassen über Land, so kann dies zu ausgedehnten Überschwemmungen führen. Wegen der über Land fehlenden Energiezufuhr in Form von Wasserdampf schwächen sich die mit der TC verbundenen Windgeschwindigkeiten rasch ab. Trotzdem sind vor allem die Küstenregionen von Sturmschäden bedroht. Außerdem können die Niederschläge des nunmehr "Ex-TC" genannten Wettersystems noch länger anhalten.

Für die TCs werden in allen betroffenen Regionen der Erde von den zuständigen TC-Warnzentren Namenslisten herausgegeben, die, außer in der Nordwestpazifikregion, pro Jahr die alphabetische Reihenfolge einhalten. Nach ein paar Jahren wiederholen sich diese Namenslisten. Nur die Namen von äußerst zerstörerischen TCs, wie z.B.

MITCH und ANDREW (Hurrikans in der Nordatlantikregion) werden nicht mehr verwendet. Nur in der Region um

Indien existierten für die TCs des Arabischen Meeres und des Bengalgolfes bis zum Jahr 2003 keine Namenslisten. Im Allgemeinen ist es üblich, für eine TC einen Namen zu vergeben, wenn sie sich bis zum T.S.-Typ (Tropischer Sturm mit $v_{\text{max}} = 35$ Knoten) verstärkt hat. Allerdings liegt diese Grenze in der Praxis oft etwas höher, insbesondere bei den TC-Zentren der Südhalbkugel, welche die Einteilung nach den TC-Typen T.D. und T.S. nicht verwenden.

TCs sollten nicht verwechselt werden mit den kleineren Wirbeln, die man auch Großtromben nennt und zu denen die gehäuft in Nordamerika auftretenden Tornados gehören. Der Durchmesser dieser kleineren Wirbel erstreckt sich lediglich über einen Bereich von einigen hundert bis tausend Metern. Außerdem sind die Großtromben durch den Einfluss von Kaltluft gekennzeichnet, wohingegen die TCs eine Erscheinung der Warmluft sind.

Ausnahme: In den tropischen Regionen kommen die o.a. "kleineren Wirbel" ebenfalls vor. Sie erreichen aber nicht so hohe Intensitäten wie die Tornados. Man nennt sie dort "Spout" (über der Wasseroberfläche: "Waterspout"), "Alimpos" (verwendet z.B. auf den Philippinen), "Dust Devil" (zumeist in den afrikanischen Savannen).

Platz für deinen Lösungsweg

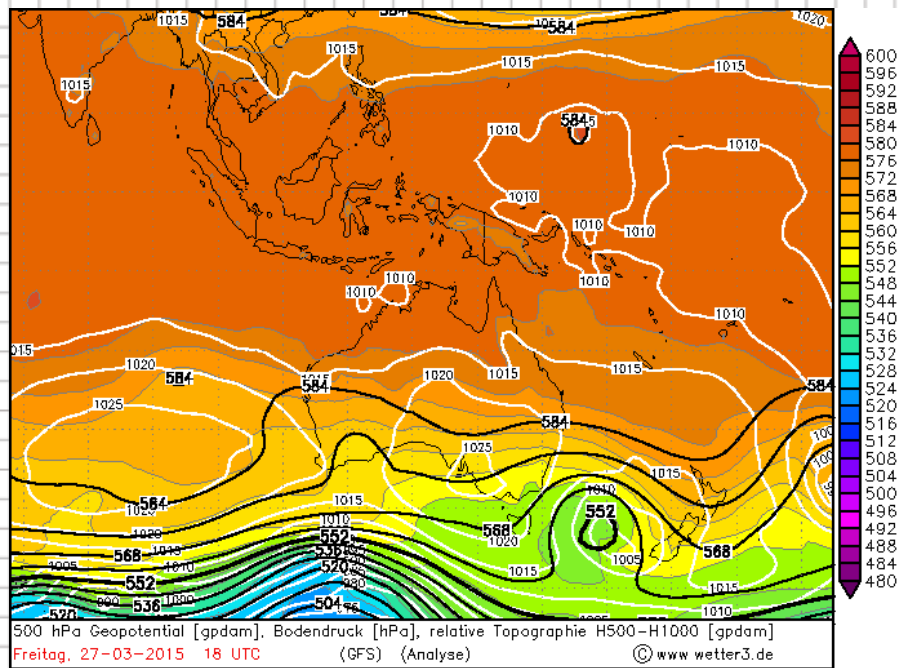
zu Aufgabe 1:

zu Aufgabe 2:

zu Aufgabe 3:

zu Aufgabe 4:

zu Aufgabe 5a):



zu Aufgabe 5b):

zu Aufgabe 5c):