

# Wirbelstürme – organisierte Konvektion mit Nachschub

Olaf Fischer

Jedes Jahr wieder hören wir in den Nachrichten von den verheerenden Folgen der tropischen Wirbelstürme. Mittlerweile verstehen wir dieses Wetterphänomen recht gut, insbesondere deshalb, weil wir es mit Hilfe von Wettersatelliten „von außen“ beobachten können. Doch auch in den Atmosphären anderer Planeten beobachten wir Wirbelstürme. Der bekannteste ist der Große Rote Fleck – der größte Sturm des Sonnensystems. Die Untersuchung dieser Stürme bringt uns weiter, weil wir in den Planetenatmosphären Labore vorfinden, die wir auf der Erde nicht haben. Der tropische Wirbelsturm ist jedoch zunächst eine irdische Erscheinung, weil er einen Wasserkreislauf benötigt.

Der vorliegende WIS-Beitrag ist einer Nachricht zum Großen Roten Fleck angehängt, verknüpft dieses Thema aber hauptsächlich mit der irdischen Erscheinung des tropischen Wirbelsturms.

Es werden Bezüge zur Physik der Wärme und der Gase hergestellt, es geht um Leseverständnis, Bildinterpretation und etwas mehr. Als zentrales Material wird ein [Lesetext](#) mit grundlegenden physikalischen Begriffen und Zusammenhängen zur Erklärung der Entstehung tropischer Wirbelstürme gegeben. In einem folgenden [Lückentext](#) mit gleichen Inhalten in anderer Anordnung und Formulierung kann das Leseverständnis getestet werden. Vom Lesetext ausgehend wird man zu einem [Arbeitsblatt „Bewegung auf rotierenden Körpern“](#), zu einem [Experiment samt Arbeitsblatt zur latenten Wärme](#) samt [Anwendung im Alltag](#), zu einer Bilderstrecke mit Wirbelstürmen auf Jupiter und Erde ([Bildinterpretation](#) gefordert) und zu einer [Aufgabe, die Kondensationswärme betreffend](#), geführt.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten	<a href="#">Planetenatmosphären. Großer Roter Fleck</a>
Physik	Thermodynamik	<a href="#">Konvektion, latente Wärme (Kondensationswärme, Kristallisationswärme), Bewegung auf rotierenden Körpern</a>
Fächer- verknüpfung	Astro-Geo	<a href="#">Tropische Wirbelstürme, Tiefdruckwirbel, Tiefdruckgebiete</a> , Hurrikan, Wolkenbildung
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis), Unterrichtsmittel	<a href="#">Lesekompetenz, Bilder auswerten, Falschfarbenbilder interpretieren, Addition von Bewegungen verschiedener Richtung, Berechnungen und Vergleiche durchführen (Kondensationswärme), Arbeitsblatt, Lesetext, Lückentext, Gel-Wärmekissen, Experiment zur latenten Wärme (Analogie)</a>

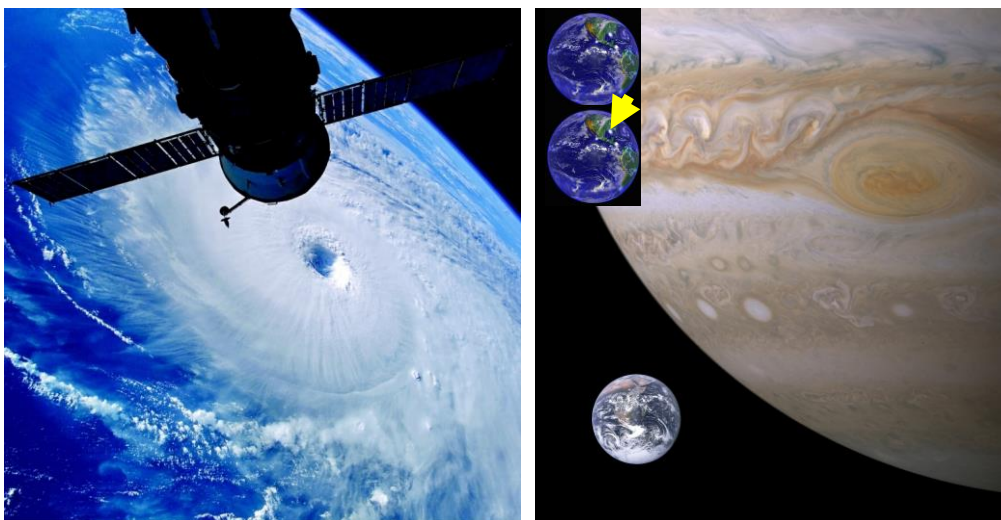


Abbildung 1: Wirbelstürme auf Planeten. Links: Hurrikan Florence über der Nordhalbkugel der Erde (2018) von der ISS aus gesehen ©: NASA Goddard Space Flight Center from Greenbelt, MD, USA - Dramatic Views of Hurricane Florence from the International Space Station From 9/12, CC BY 2.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=72682414>. Die Luftmassen rotieren entgegen dem Uhrzeigersinn. Rechts: Großer Roter Fleck (GRF) auf Jupiter, aufgenommen von der Raumsonde Cassini. ©: By NASABrian0918 at English Wikipedia - Created from The Earth seen from Apollo 17.jpg (taken from [http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object\\_page/a17\\_h\\_148\\_22727.html](http://nssdc.gsfc.nasa.gov/imgcat/html/object_page/a17_h_148_22727.html) and Portrait of Jupiter from Cassini.jpg (taken from <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04866>). Transferred from en.wikipedia to Commons. The image of Earth was taken by Apollo 17 on 7 December 1972. The image of Jupiter was taken by Cassini on 29 December 2000., Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3866929>. Der GRF rotiert gegen den Uhrzeigersinn. Ein irdischer tropischer Wirbelsturm ist im Vergleich zum GRF verschwindend klein (gelber Pfeil zeigt auf einen, Erde ist im Vergleich zum GRF eingeblendet).

## Lesetext

### Wie Wirbelstürme funktionieren



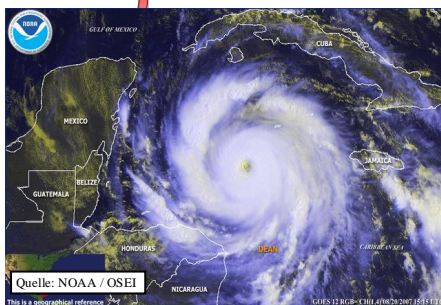
In Flüssigkeiten und Gasen können sich die Teilchen zueinander verschieben. Dadurch wird das Strömen ermöglicht, welches bei der Konvektion, die eine Möglichkeit für den Energietransport in Planetenatmosphären darstellt, stattfindet. Eine andere Form des Energietransports in Atmosphären ist die Strahlung.

Wenn das Atmosphären gas der Erde (Luft) erwärmt wird, dann dehnt es sich aus, d. h. es vergrößert sein Volumen (es ist ja nicht eingesperrt) und verringert dadurch seine Dichte. Von einem Luftballon wissen wir, dass dieser aufsteigt, wenn er mit einem leichteren Gas (z. B. Helium oder heiße Luft) gefüllt wird. Der Aufstieg wird durch die Auftriebskraft ermöglicht. Auch ohne Ballonhaut steigt die erwärmte Luft auf – Konvektion findet statt.

Das Aufsteigen einer erwärmten Luftmenge kann man mit dem Herausziehen des Kolbens einer Saugpumpe vergleichen – am Erdboden entsteht kurzzeitig ein

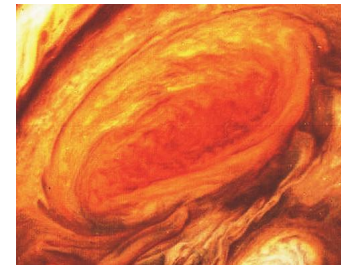


Unterdruck. Dieser wird durch am Boden nachströmende Luftmassen ausgeglichen. Da sich die Erde dreht, erfolgt das Zuströmen nicht radial (auf direktem Wege), sondern es wird auf der Nordhalbkugel nach rechts abgelenkt. (→ Erklärendes: siehe Arbeitsblatt



„**Bewegungen auf rotierenden Körpern**“) Ein Tiefdruckwirbel, der sich auf der Nordhalbkugel der Erde entgegen dem Uhrzeigersinn dreht, entsteht.

Dort, wo Atmosphären gas herabströmt, entsteht ein Hochdruckwirbel, der sich auf der Nordhalbkugel im Uhrzeigersinn und auf der Südhalbkugel entgegen zu diesem dreht. In der Jupiteratmosphäre existieren vor allem Hochdruckwirbel(stürme). Der größte davon, den wir als den Großen Roten Fleck beobachten, befindet sich auf der Südhalbkugel von Jupiter. (→ Weiteres: siehe [„Astrobilder lesen lernen: Planetare Wirbelstürme“](#))



Doch zurück zum irdischen Tiefdruckwirbel. Die nachströmende Luft wird im Zentrum des Wirbels, wie oben erwähnt, in die Höhe gerissen (gesaugt). Beim Aufstieg kühlt sich die Luft ab, wobei das darin enthaltene Wasser (Luftfeuchtigkeit) kondensiert und Wolken bildet. Dabei passiert etwas sehr Entscheidendes: Es wird Kondensationswärme frei (→ Freihandexperiment [„Latente Wärme bei der Fixiersalzkristallisation“](#)) Diese führt dazu, dass sich die aufsteigende Luft wieder erwärmt und noch weiter aufsteigt und so noch mehr Unterdruck erzeugt. Im Zentrum des Tiefdruckwirbels zeigt ein Barometer einen stark sinkenden Luftdruck an. Der Zustrom von Luftmassen geschieht noch schneller und die Winde wehen immer stärker. Die Rotation hilft dabei, dass die Luft geordnet und damit schnell zum Zentrum fließen kann.

Aus dem Tiefdruckwirbel entwickelt sich ein Wirbelsturm, wenn über längere Zeit hinweg viel Kondensationswärme frei wird. (→ Quantitatives siehe [„Aufgabe zur Kondensationswärme in einem tropischen Wirbelsturm“](#)) Dies passiert, sobald sich der Wirbel über warmem Wasser befindet, welches in der Lage ist, Unmengen an zufließender Luft zu erwärmen und stark zu befeuchten und dafür die Verdunstungswärme zu liefern. Dies ist der Fall, wenn eine mindestens 27°C warme und 60 m tiefe Wasserschicht vorliegt. Wirbelstürme entwickeln sich demzufolge über dem sehr warmen Ozean in Äquatornähe; aber nicht direkt am Äquator, weil dort die zur Verwirbelung führende Bahnablenkung der zuströmenden Luftmassen sehr klein ist.

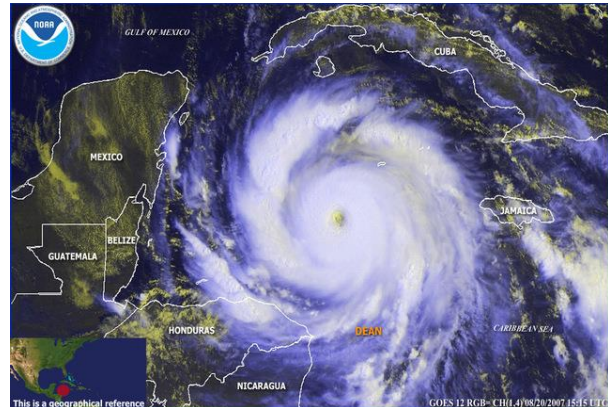


Blick auf das Auge des Hurrikans Katrina. ©: NOAA - <http://www.noaa.gov/news/stories2005/images/katrina-noaa-p3-view-08-28-2005.jpg>, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=301017>.

## Lückentext

### Wie Wirbelstürme funktionieren

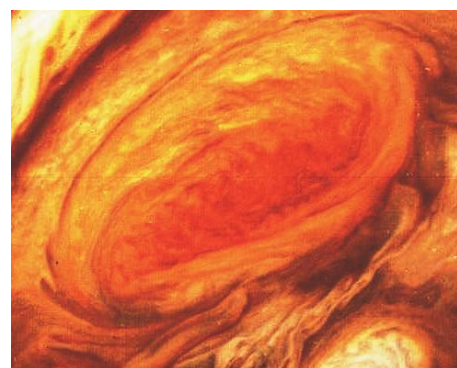
Es beginnt mit einem Tiefdruckwirbel. Gelangt dieser über warmes Wasser, so wird die von ihm angesaugte Luft nicht nur längerfristig angewärmt (Wasser kann viel Wärme speichern), sondern auch befeuchtet. Damit tankt die Luft zweierlei Energie. Zum einen führt die Wärmezufuhr zu einer erhöhten Energie der Luftteilchen – die Temperatur wird . Zum anderen führt sie bei gleichbleibender Temperatur zur Verdunstung und damit zur Aufnahme von  wärme.



Die feuchtwarme Luft steigt auf. Diese Art des Energietransportes nennt man . Mit zunehmender Höhe kühlt sich die Luft ab. Sobald sie sich soweit abgekühlt hat, dass ihr Sättigungspunkt, der die Aufnahmefähigkeit für Luftfeuchtigkeit festlegt, überschritten wird, beginnt die Kondensation. Es wird hier nicht weiter darauf eingegangen, dass dazu Kondensationskeime (z. B. Staubteilchen) nötig sind. Bei der  bilden sich , deren Wirbelstruktur auf Satellitenaufnahmen gut zu sehen ist. Die Kondensation ist für die Entstehung von Wirbelstürmen entscheidend. Die dabei frei werdende  (das Gegenstück der Verdunstungswärme) sorgt dafür, dass sich die aufgestiegene Luft wieder etwas erwärmt und infolgedessen weiter  Dies wiederum hat zur Folge, dass der Luftdruck am Erdboden weiter , was die Sogwirkung  und die Luft schneller nachströmen lässt - die Windstärke . Auf der Nordhalbkugel drehen sich die Tiefdruckwirbel und die daraus entstehenden Wirbelstürme  Uhrzeigersinn. Da sich die Luft im Wirbelsturm größtenteils von außen nach innen und von unten nach oben bewegt, winden sich die Wolkenspiralen dementsprechend.

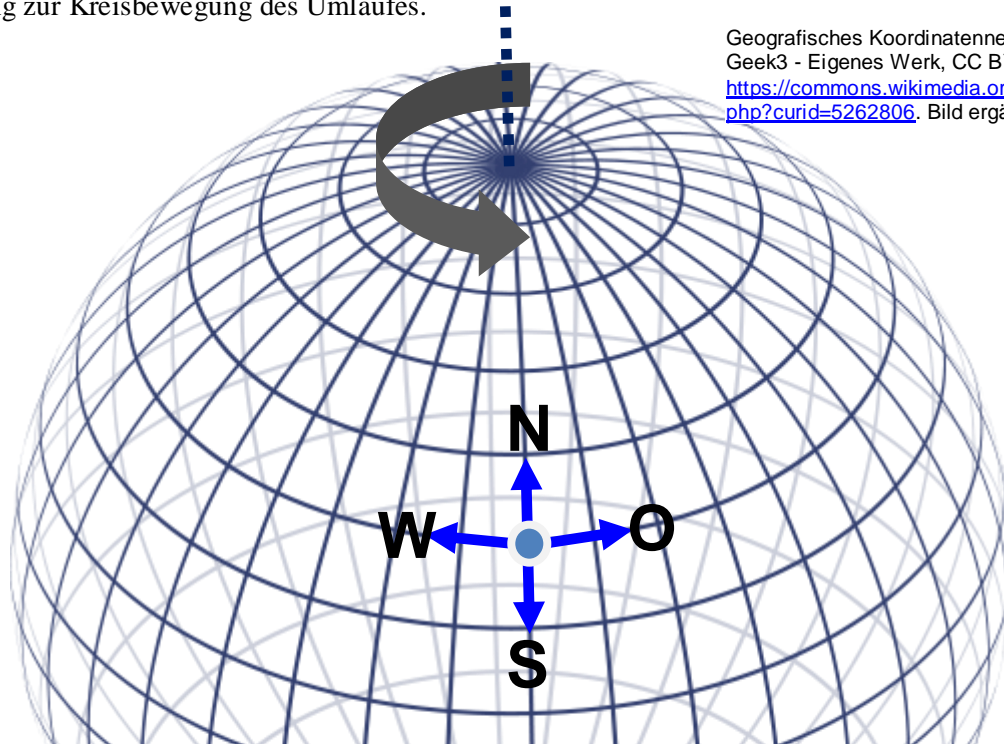
Tiefdruckwirbel über den Ozeanen etwas oberhalb und unterhalb des  sind potentielle Keimzellen für Wirbelstürme.

Auch auf anderen Planeten kann man Wirbelstürme beobachten. Der größte Wirbelsturm des Sonnensystems wütet auf Jupiter. Man nennt ihn nach seinem sichtbaren Erscheinungsbild den . Dabei handelt es sich um einen Hochdruckwirbel, das heißt, das Atmosphärgas von Jupiter sinkt in ihm nach unten, weil seine Temperatur  ist, als die der Umgebung. Im Zentrum des Wirbels haben die Astronomen jedoch eine etwas höhere Temperatur festgestellt – dort muss das Gas also .



## Arbeitsblatt: Bewegungen auf rotierenden Körpern

Ein sich auf einem rotierenden Planeten (in erster Näherung als Kugel angenommen) befindliches (ruhendes) Objekt (z. B. ein schwebender Ballon) nimmt an der Rotation teil. Die Umlaufgeschwindigkeit ist dabei umso kleiner, je weiter entfernt sich das Objekt vom Äquator befindet. Versetzt man das Objekt in eine bestimmte Richtung in Bewegung, so addiert sich diese lineare Bewegung zur Kreisbewegung des Umlaufes.



Geografisches Koordinatennetz. ©: Von Geek3 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5262806>. Bild ergänzt.

### Aufgabe

Überlege, wie sich ein Ballon, der auf der nördlichen Halbkugel der Erde (nicht auf dem Äquator) in Richtung Norden oder Osten oder Süden oder Westen in Bewegung gesetzt wird, fortbewegt. Trage in das obige Bild für jede der vier Richtungen die sich ergebende Bahn in Bezug zur Erdoberfläche ein. Beschreibe die jeweilige Bahn und begründe jeweils, wie sie zustande kommt.

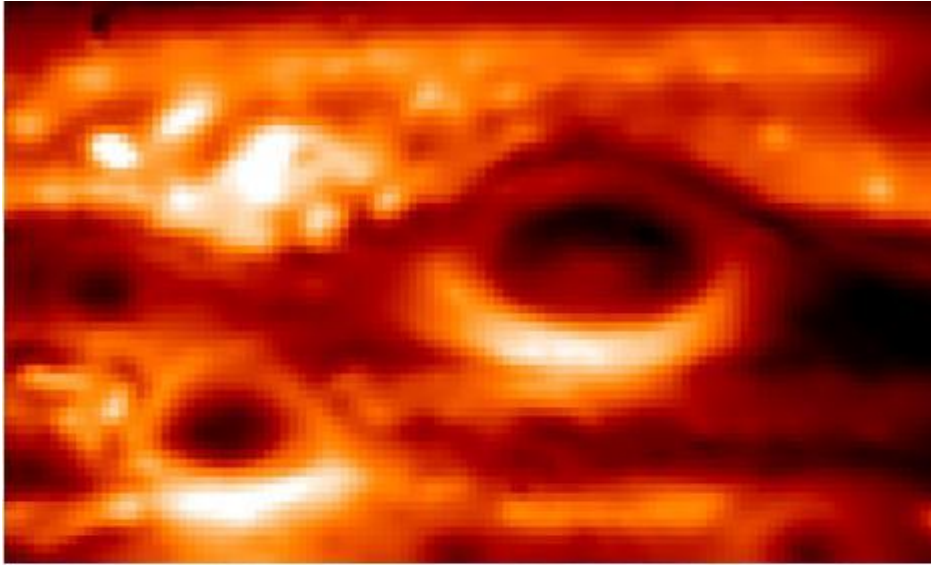
**N:**

**S:**

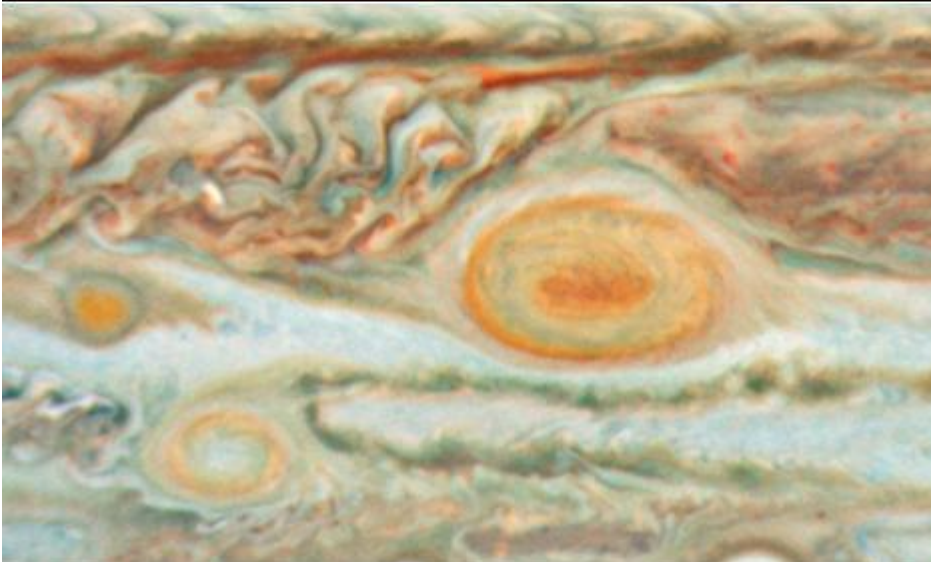
**O:**

**W:**

## Astrobilder lesen lernen: Planetare Wirbelstürme – Jupiter



Großer Roter Fleck, aufgenommen im mittleren Infrarot bei Wellenlängen von 10  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$ . Die verschiedenen Farbtöne des Falschfarbenbildes stehen für verschiedene Temperaturen des Atmosphärgases.



Großer Roter Fleck, aufgenommen im sichtbaren Licht.

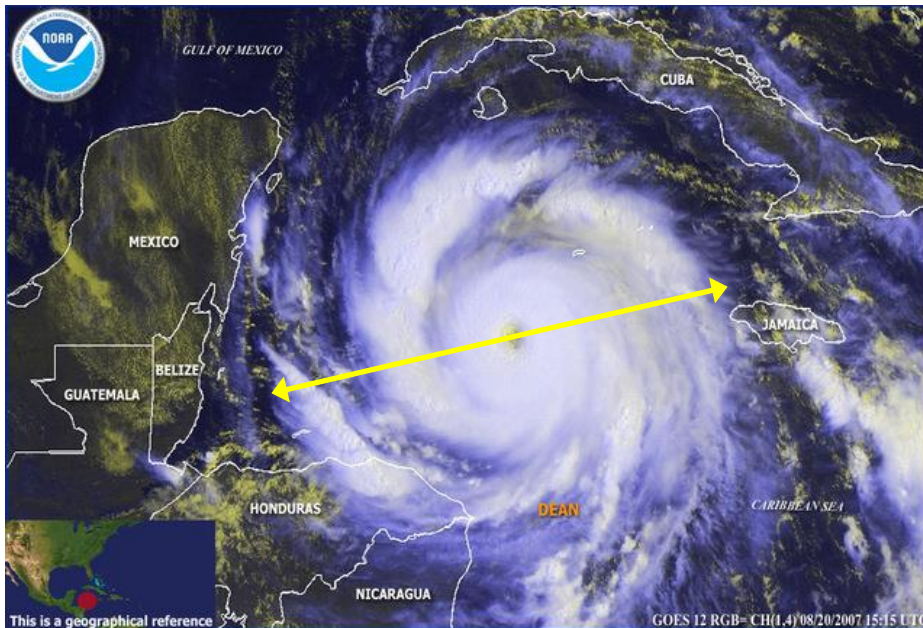
©: NASA/JPL/ESO and NASA/ESA/GSFC – <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA12869>, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10687683>.

### Aufgaben

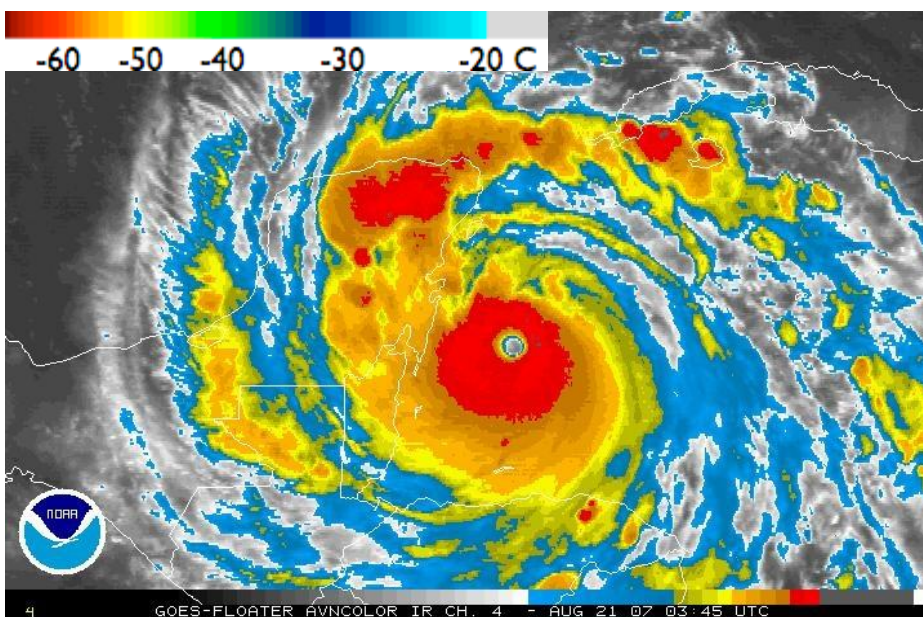
1. Der Große Rote Fleck (GRF) ist ein Hochdruckwirbel, d. h. das Atmosphärgas Jupiters sinkt in ihm nach unten. Woran lässt sich dies im Falschfarbenbild oben erkennen? Denke bei deiner Antwort an den Auftrieb in einem Gas im Zusammenhang mit der Temperatur.
2. Was lässt sich über die Temperatur des Flecks im Vergleich zu einem großen Teil der Jupiteratmosphäre sagen?
3. Das obige Falschfarbenbild ist das letzte Ergebnis der Forschung zum GRF. Die Forscher stellten dabei erstmals fest, dass das Zentrum des Flecks im Bild heller erscheint. Was schlossen sie daraus?

[\(→ zurück zum Anfang\)](#)

## Astrobilder lesen lernen: Planetare Wirbelstürme – Erde



Hurrikan Dean  
(Kategorie 5) am 20. 8.  
2007, ca. 15 Uhr im sicht-  
baren Licht  
(In Amerika bezeichnet  
man tropische Wirbel-  
stürme als Hurrikans)  
©: public domain.



Hurrikan Dean  
(Kategorie 5) am 21. 8.  
2007, ca. 7 Uhr im Licht  
des Mittleren Infrarot (ca.  
10  $\mu\text{m}$ ).  
©: public domain.

### Aufgaben

1. Welche Ausmaße hatte der Hurrikan Dean am 20. 8. 2007? Vergleiche dazu die Ausdehnung der Wolkenspirale (Pfeil) mit der Länge von Jamaika (235 km). Wie groß war das wolkenfreie Auge?
2. Mit welcher Durchschnittsgeschwindigkeit bewegte sich Dean. Betrachte dazu die Ortsveränderung des Sturmzentrums in Bezug auf die Länderumrisse.
3. In tropischen Wirbelstürmen auf der nördlichen Halbkugel strömt (stürmt) die Luft zum Tiefdruckzentrum entgegen dem Uhrzeigersinn und wird dabei in die Höhe gerissen, wobei Wolken entstehen. Deute die Bewegung der Luftmassen im Bild oben durch Pfeile an. Zeichne räumlich eine Spirale (oder forme sie aus Draht), die den etwaigen Verlauf der Wolken auch räumlich zeigt.
4. Das untere Bild ermöglicht die Ablesung der Temperaturen im Wirbelsturm (vor allem die seiner Wolken). Ordne verschiedenen Teilen des Wirbelsturms eine Temperatur zu und suche nach einer Begründung für die verschiedenen Temperaturen.

(→zurück zum Anfang)

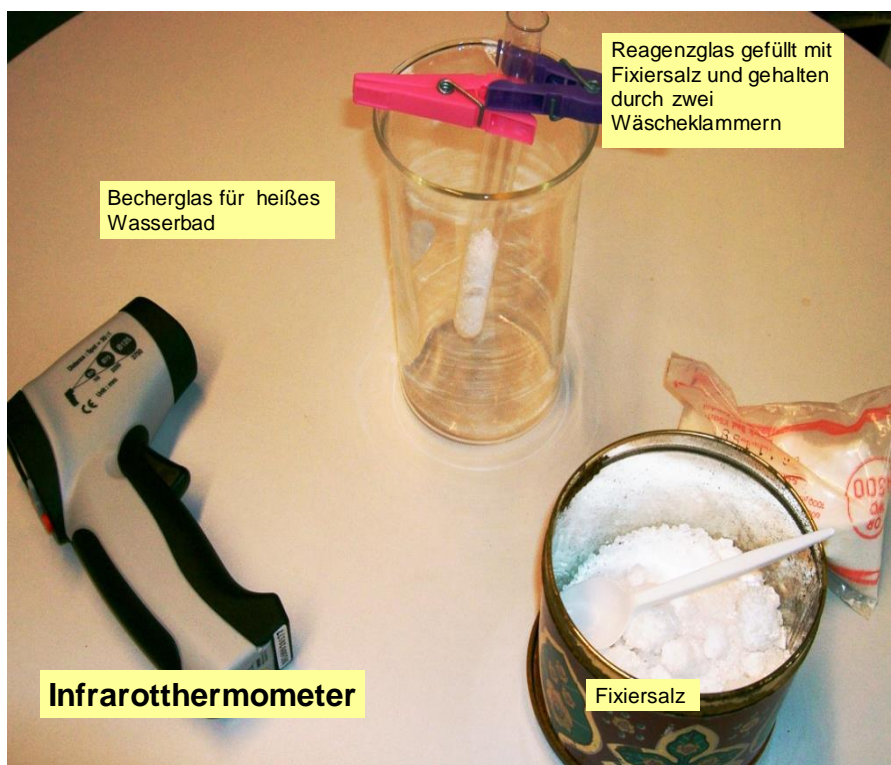
## Freihandexperiment „Latente Wärme bei der Fixiersalzkristallisation“

Jeder von uns weiß, dass man Wasser zum Kochen bringt, indem man Wärme zuführt und so seine Temperatur erhöht. Beim Kochen jedoch führt die weitere Wärmezufuhr nicht zu einer Temperaturerhöhung, sondern zum Verdampfen. Der 100°C heiße Wasserdampf muss die Energie also latent (verborgen) in sich tragen und bei dem rückwärts verlaufenden Vorgang (Kondensieren) wieder abgeben.

Für den wirkungsvollen Nachweis der **latenten Wärme** wird hier ein einfaches Experiment vorgeschlagen, bei dem es um den Übergang von flüssig nach fest (exakter: von einer Lösung zum Kristall) geht. Die hierbei freiwerdende **Kristallisationswärme** kann in **Analogie zur Kondensationswärme** gesehen werden.

Damit der Versuch Eindruck macht, wird die Tatsache genutzt, dass man Flüssigkeiten unter ihre Erstarrungstemperatur bzw. Lösungen unter ihre Kristallisationstemperatur abkühlen kann (unterkühlte Flüssigkeiten), ohne dass sie dabei fest werden, weil der dazu nötige „Start“ fehlt.

Mit Wasser ist dies auf einfache Weise kaum möglich. Flüssiges **Natriumthiosulfat** (Hauptbestandteil von Fixiersalz) eignet sich dagegen gut, weil es bei 48 °C sich auflöst bzw. kristallisiert und sich bis auf etwa 25 °C unterkühlen lässt. Führt man bei unterkühltem flüssigem Natriumthiosulfat z. B. durch heftige Erschütterung den Start der Kristallisation herbei, so erwärmt es sich durch die frei werdende (latente) Kristallisationswärme bis auf die Erstarrungstemperatur.



Die dargestellten Experimentiergeräte stellen eine Möglichkeit dar, den vorab skizzierten Versuch durchzuführen. Eine etwas andere Variante wird im folgenden Aufgabenblatt für den Schüler verwendet.

Die berührungslose Temperaturmessung mit einem Infrarotthermometer erlaubt einen **Bezug zur Temperaturbestimmung beim Großen Roten Fleck**, welche Astronomen wie in SuW 6/2010 kurz berichten durchgeführt haben. (siehe dazu [„Astrobilder lesen lernen“](#)).

## Das Gel-Wärmekissen – Kristallisationswärme im Alltag

Mittlerweile alltäglich sind Latentwärmespeicherkissen, die durch die Kristallisation eines Salzes (z. B. Natriumacetat-Trihydrat) latent gespeicherte Wärme (die Wärme, die bei der Lösung zugeführt wurde) als Kristallisationswärme abgeben können (siehe Versuch zuvor). Die Kristallisation wird hier durch mehrfaches Knicken eines Metallplättchens (siehe Bild) im unterkühlten Salzgel ausgelöst. Im unteren Bild sind zwei derartige Gel-Wärmekissen abgebildet, die man für einige EURO erwerben kann. Das Gel im rechten Kissen ist nicht mehr durchsichtig, wie es im linken Kissen der Fall ist, weil hier die Kristallisation stattfand. Durch Energiezufuhr in ausreichend heißem Wasser kann das Kissen wieder „aufgeladen“ werden, d. h., kann die Lösung durch Zuführung der Lösungswärme wieder hergestellt werden.

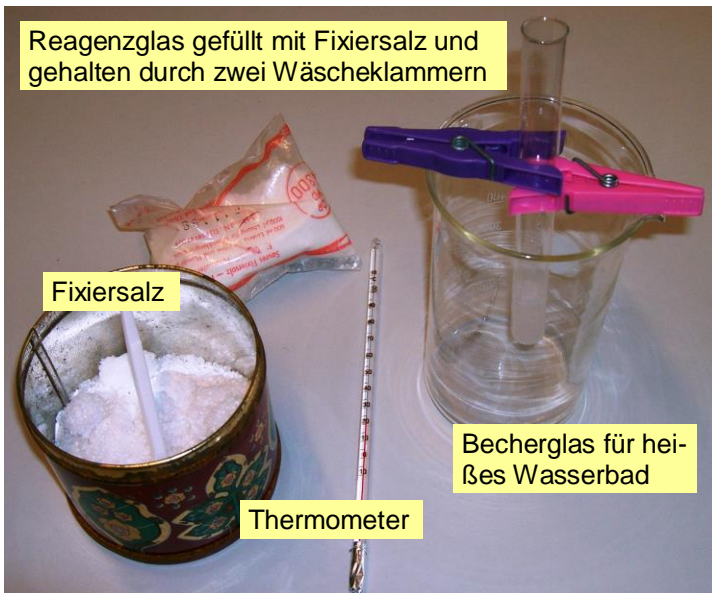




**Arbeitsblatt zum Experiment: „Latente Wärme bei der Fixiersalzkristallisation“**

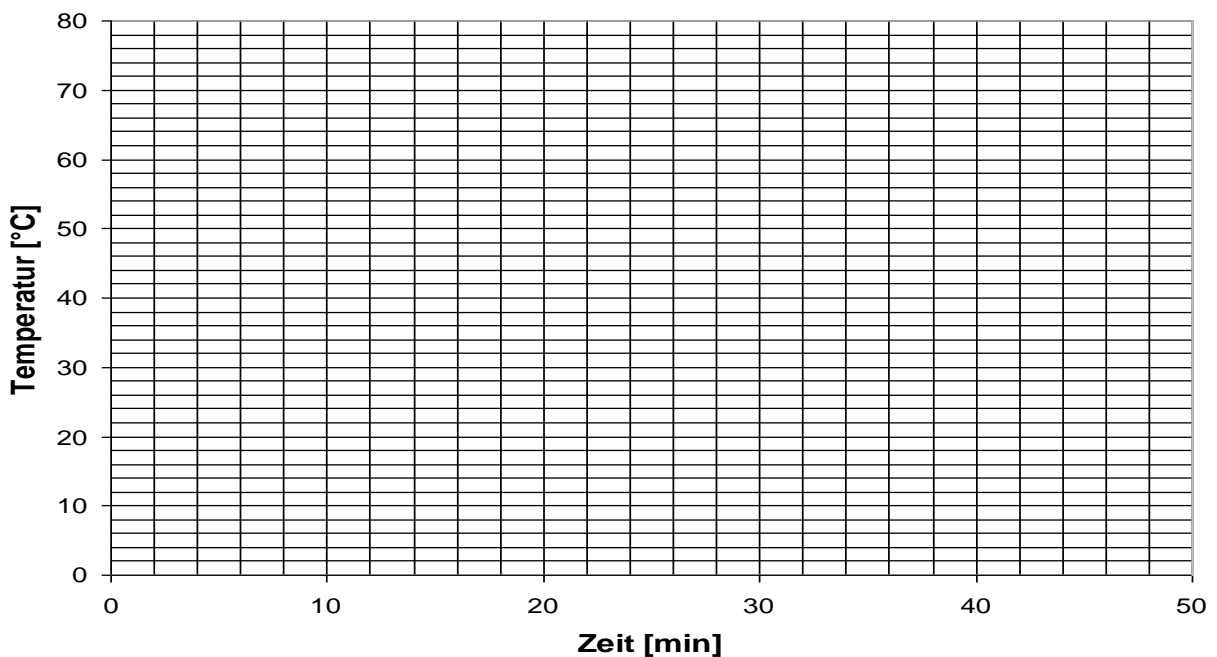
**Hinweise zur Durchführung des Experiments:**

- 1.) Man fülle ein Reagenzglas etwa 5 cm hoch mit Fixiersalz.
- 2.) Nun tauche man das Reagenzglas in heißes Wasser (erhitzt z. B. im Wasserkocher), solange, bis sich das Fixiersalz aufgelöst hat.
- 3.) Man stelle das Reagenzglas erschütterungsfrei ab und messe z. B. alle 5 min seine Temperatur. Notiere die Werte in einer Messwerttabelle.
- 4.) Sobald die Temperatur auf ca. 25 °C abgefallen ist, erschüttere man die Fixiersalzflüssigkeit kräftig oder werfe ein größeres Fixiersalzkristallkorn hinein und beobachte in Folge gut das Thermometer.
- 5.) Das Anfassen des Reagenzglases macht die frei gewordene Kristallisationswärme eindrucksvoll spürbar.



Zeit [min]	Temperatur [°C]

**Temperaturverlauf**



[\(→zurück zum Anfang\)](#)

## Aufgabe zur Kondensationswärme in einem tropischen Wirbelsturm

Tropische Wirbelstürme entstehen aus Tiefdruckwirbeln, die Energie aufnehmen aus der Kondensationswärme feuchtwarmer Meeresluft. Bei einer Wassertemperatur von  $27^\circ\text{C}$  verdampft von einer Meeresoberfläche der Größe Frankreichs in einigen Tagen die Wassermenge des Bodensees. Dieser fasst 48,5 Milliarden Kubikmeter. Beim Verdampfen nimmt das Wasser Verdampfungswärme auf, die beim Kondensieren als Kondensationswärme wieder frei wird.

Welcher Betrag an Kondensationswärme  $Q_{v^*}$  wird bei der Entstehung eines tropischen Wirbelsturms frei, der die Wassermenge des Bodensees aufnimmt?



Luftaufnahme des Bodensees. ©: gemeinfrei.

Vergleiche den ermittelten Wert mit der Energiemenge, die Block B des Atomkraftwerks Biblis (Leistung: 1,2 MW) erzeugt oder mit der Energie, die bei der Explosion der Hiroshima-Bombe (Sprengwirkung von 13 Kilotonnen TNT) frei wurde.

Eine kt TNT-Sprengstoff setzt eine Energie von  $4184 \cdot 10^{12}$  J frei.

Wasser hat eine spezifische Kondensationswärme  $q_{v^*}$  (Kondensationswärme pro Masse) von 2257 kJ/kg.

\* Es wird hier die Verdampfungswärme  $Q_V$  angegeben, die der Kondensationswärme betragsmäßig entspricht.

Geg.:

Ges.:

Lösung:

# ERGEBNISSE

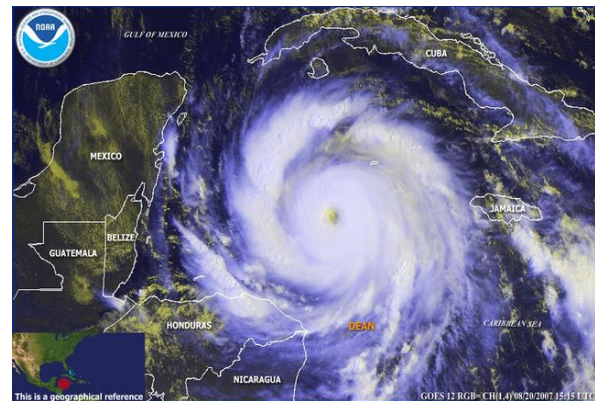
## Lückentext

### Wie Wirbelstürme funktionieren

Es beginnt mit einem Tiefdruckwirbel. Gelangt dieser über warmes Wasser, so wird die von ihm angesaugte Luft nicht nur längerfristig angewärmt (Wasser kann viel Wärme speichern), sondern auch befeuchtet. Damit tankt die Luft zweierlei Energie.

Zum einen führt die Wärmezufuhr zu einer erhöhten Energie der Luftteilchen – die Temperatur wird **erhöht**. Zum anderen führt sie bei gleichbleibender Temperatur zur Verdunstung und damit zur Aufnahme von **Verdunstungswärme**.

Die feuchtwarme Luft steigt auf. Diese Art des Energietransportes nennt man **Konvektion**. Mit zunehmender Höhe kühlt sich die Luft ab. Sobald sie sich soweit abgekühlt hat, dass ihr

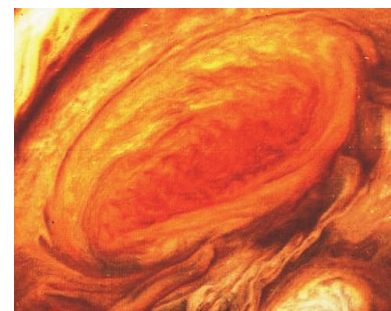


Sättigungspunkt, der die Aufnahmefähigkeit für Luftfeuchtigkeit festlegt, überschritten wird, beginnt die Kondensation. Es wird hier nicht weiter darauf eingegangen, dass dazu Kondensationskeime (z. B. Staubteilchen) nötig sind. Bei der **Kondensation** bilden sich **Wolken**, deren Wirbelstruktur auf Satellitenaufnahmen gut zu sehen ist. Die Kondensation ist für die Entstehung von Wirbelstürmen entscheidend. Die dabei freiwerdende **Kondensationswärme** (das Gegenstück der Verdunstungswärme) sorgt dafür, dass sich die aufgestiegene Luft wieder etwas erwärmt und infolgedessen weiter **aufsteigt**. Dies wiederum hat zur Folge, dass der Luftdruck am Erdboden weiter **sinkt**, was die Sogwirkung **erhöht** und die Luft schneller nachströmen lässt - die Windstärke **nimmt zu**.

Auf der Nordhalbkugel drehen sich die Tiefdruckwirbel und die daraus entstehenden Wirbelstürme **gegen den** Uhrzeigersinn. Da sich die Luft im Wirbelsturm größtenteils von außen nach innen und von unten nach oben bewegt, winden sich die Wolkenspiralen dementsprechend.

Tiefdruckwirbel über den Ozeanen etwas oberhalb und unterhalb des **Äquators** sind potentielle Keimzellen für Wirbelstürme.

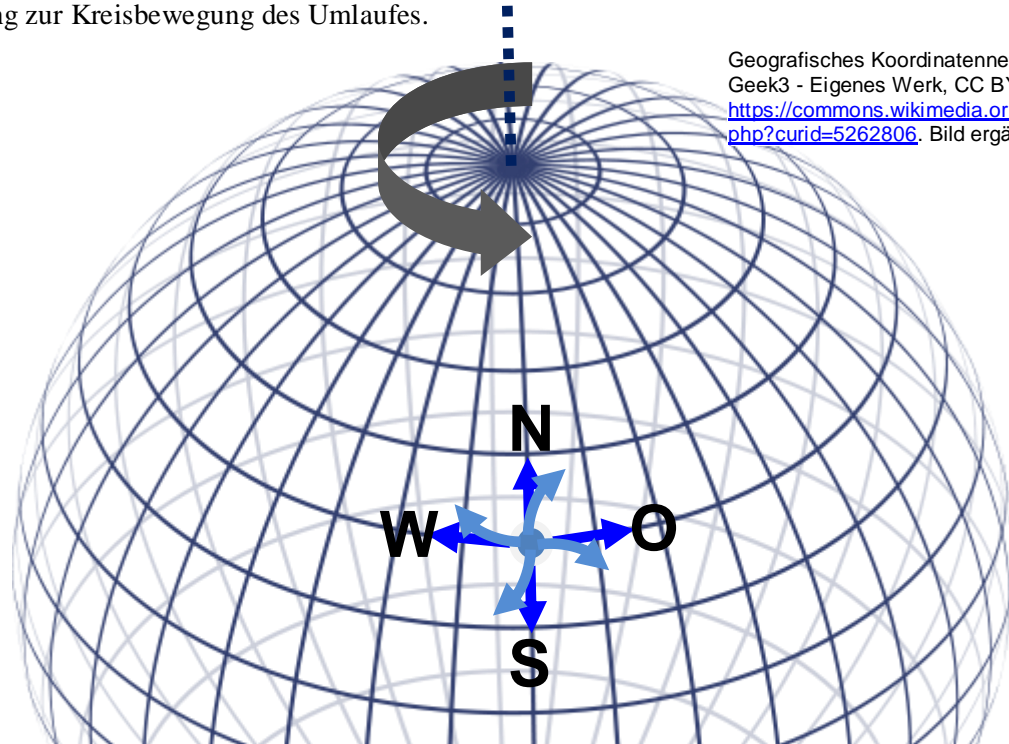
Auch auf anderen Planeten kann man Wirbelstürme beobachten. Der größte Wirbelsturm des Sonnensystems wütet auf Jupiter. Man nennt ihn nach seinem sichtbaren Erscheinungsbild den **Großen Roten Fleck**. Dabei handelt es sich um einen Hochdruckwirbel, das heißt, das Atmosphären gas von Jupiter sinkt in ihm nach unten, weil seine Temperatur **geringer** ist, als die der Umgebung. Im Zentrum des Wirbels haben die Astronomen jedoch eine etwas höhere Temperatur festgestellt – dort muss das Gas also **aufsteigen**.



## Arbeitsblatt: Bewegungen auf rotierenden Körpern

Ein sich auf einem rotierenden Planeten (in erster Näherung als Kugel angenommen) befindliches (ruhendes) Objekt (z. B. ein schwebender Ballon) nimmt an der Rotation teil. Die Umlaufgeschwindigkeit ist dabei umso kleiner, je weiter entfernt sich das Objekt vom Äquator befindet.

Versetzt man das Objekt in eine bestimmte Richtung in Bewegung, so addiert sich diese lineare Bewegung zur Kreisbewegung des Umlaufes.



Geografisches Koordinatennetz. ©: Von Geek3 - Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5262806>. Bild ergänzt.

### Aufgabe

Überlege, wie sich ein Ballon, der auf der nördlichen Halbkugel der Erde (nicht auf dem Äquator) in Richtung Norden oder Osten oder Süden oder Westen in Bewegung gesetzt wird, fortbewegt. Trage in das obige Bild für jede der vier Richtungen die sich ergebende Bahn in Bezug zur Erdoberfläche ein. Beschreibe die jeweilige Bahn und begründe jeweils, wie sie zustande kommt.

**N:** Der nach Norden angeschobene Ballon erfährt eine andauernde Rechtsablenkung (nach Osten), die zu einer geschwungenen Bahn führt.

Die Ablenkung entsteht dadurch, dass die Umlaufgeschwindigkeit eines mit der Erde rotierenden Objekts zu höheren Breiten hin geringer wird. Da der Ballon von einem Breitengrad mit höherer Umlaufgeschwindigkeit kommt, muss er nach und nach in Rotationsrichtung der Erde vorauslaufen.

**S:** Auch der nach Süden angeschobene Ballon erfährt in Bahnrichtung gesehen eine Rechtsablenkung, die diesmal eine sich nach Westen windende Bahn erzeugt.

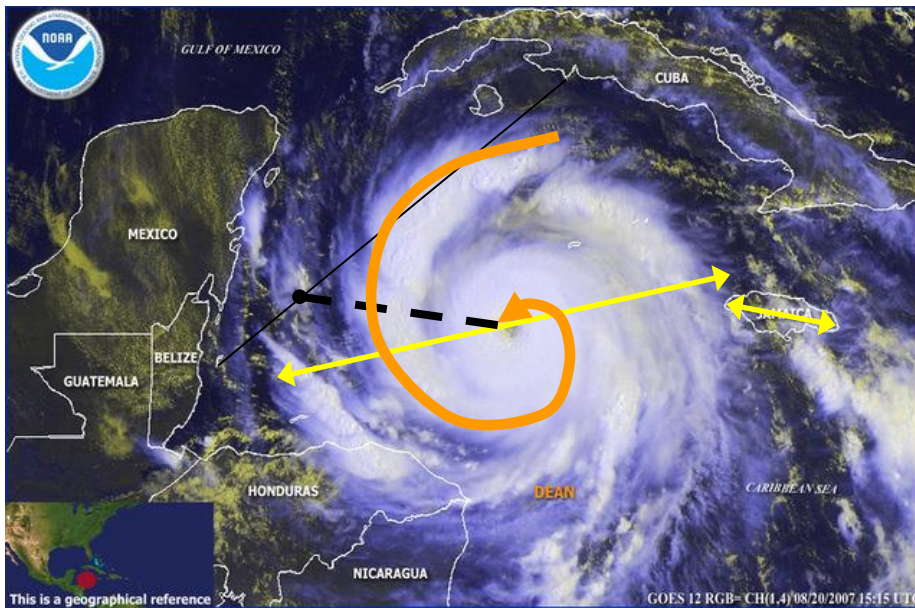
Diese Ablenkung entsteht, weil die Umlaufgeschwindigkeit eines mit der Erde rotierenden Objekts zu niederen Breiten hin größer wird. Der Ballon kann mit der neuen Umlaufgeschwindigkeit nicht mehr mithalten und bleibt zurück.

**O:** Wenn man den Ballon in Richtung Osten, d. h. in Richtung der Erdrotation, anschiebt, dann wird er schneller als die Umlaufgeschwindigkeit für ein ruhendes Objekt. Infolge dessen bewegt er sich zu Breiten, wo die Umlaufgeschwindigkeit wieder passt – nach Süden.

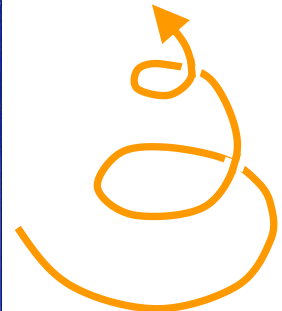
**W:** Der westlich bewegte Ballon verliert an Umlaufgeschwindigkeit und muss folglich nördlich ausweichen. Auch hier hat man es mit einer Rechtsablenkung zu tun.

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

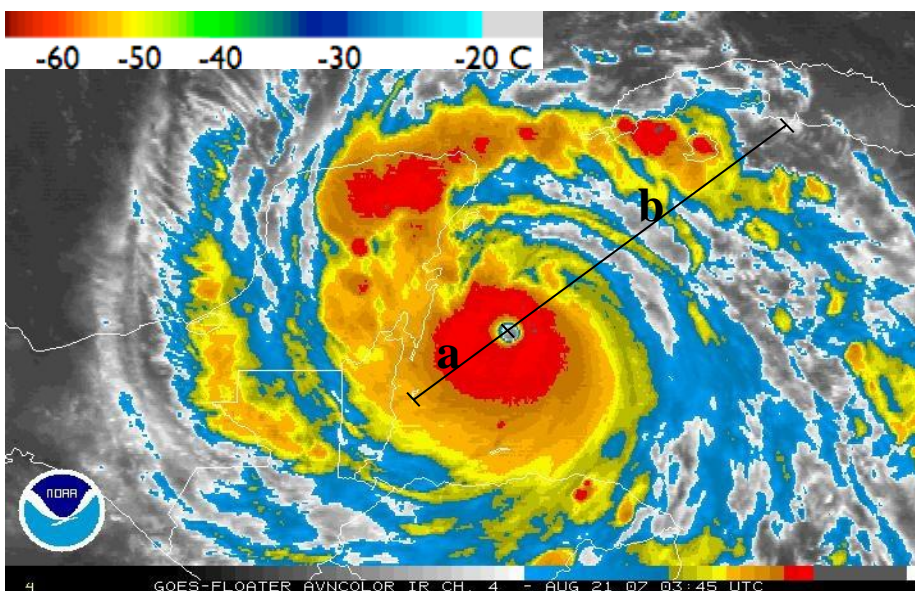
## Ergebnisse: Astrobilder lesen lernen: Planetare Wirbelstürme – Erde



Hurrikan Dean  
(Kategorie 5) am 20. 8.  
2007, ca. 15 Uhr im  
sichtbaren Licht.  
©: gemeinfrei.



Wolkenspirale räumlich  
gezeichnet

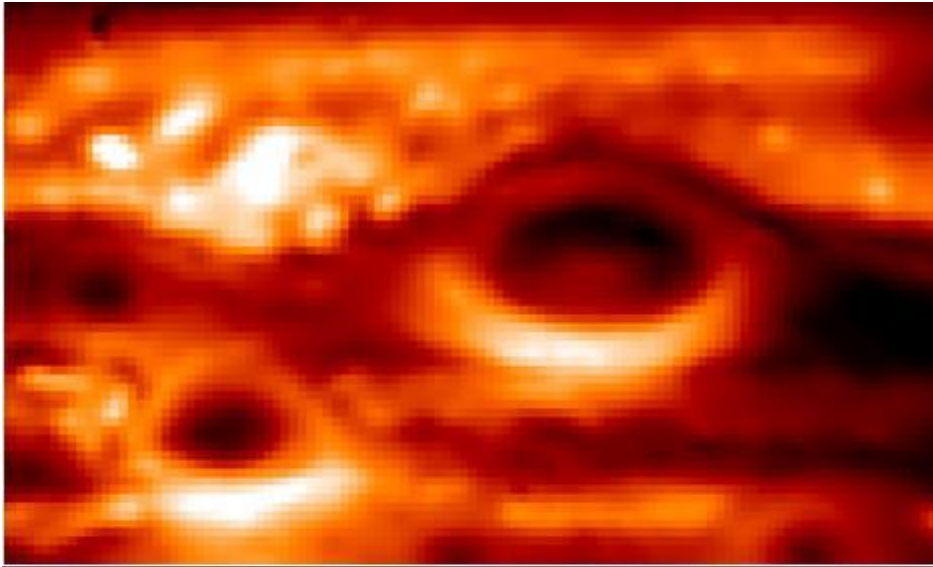


Hurrikan Dean  
(Kategorie 5) am 21. 8.  
2007, ca. 7 Uhr im Licht  
des Mittleren Infrarot (ca.  
10  $\mu\text{m}$ ).  
©: gemeinfrei.

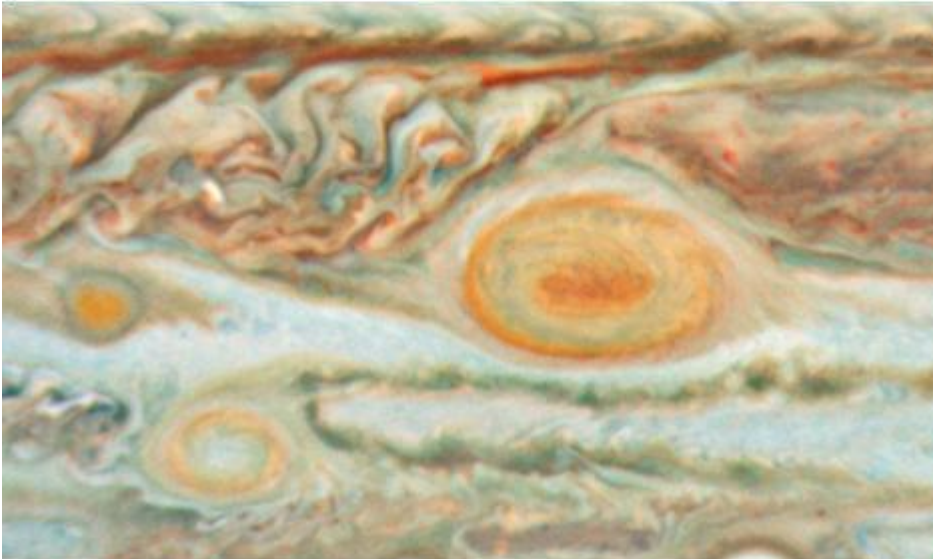
1. Ausmaße der Wolkenspirale von Hurrikan Dean am 20. 8. 2007: etwa 4,25-fache Länge von Jamaika, d. h. rund 1000 km (gelbe Pfeile). Das wolkenfreie Auge hat einen Durchmesser, der das ca. 0,18-fache der Länge von Jamaika ausmacht, also etwa 40 km.
2. Am 20. 8. befand sich das Sturmzentrum auf der im unteren Bild eingezeichneten Hilfslinie im Abstand a entfernt von einer kleinen Insel, die Belize vorgelagert ist. Der Abstand b reicht vom Sturmzentrum zu einem spitz zulaufenden Küstenabschnitt von Kuba. Das Verhältnis von a zu b beträgt etwa 1:3. Zieht man nun die Linie im oberen Bild und überträgt das Streckenverhältnis, so erhält man hier die (alte) Position des Sturmmauges. Die Verbindungsstrecke zwischen alter und neuer Position des Sturmmauges (dick gestrichelt) kann eingezeichnet und ermittelt werden: ca. 460 km. Diese Strecke wurde zwischen dem 20. 8., 15 Uhr und dem 21. 8., 7 Uhr – also in 16 Stunden zurückgelegt. Das ergibt eine Zuggeschwindigkeit des Hurrikans (als Ganzes) von rund 30 km/h.
3. Die Luftmassen bewegen sich etwa auf einer Spirale mit enger werdender Windung (siehe Bild oben).
4. Die Temperatur der Wolken in der Spirale nimmt von außen nach innen hin ab – von etwa  $-60^{\circ}\text{C}$  bis hin zu etwa  $-45^{\circ}\text{C}$ . Von außen nach innen bedeutet auch wachsende Höhe, und mit wachsender Höhe sinkt die Temperatur (in der Troposphäre).

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

## Ergebnisse: Astrobilder lesen lernen: Planetare Wirbelstürme – Jupiter



Großer Roter Fleck, aufgenommen im mittleren Infrarot bei 10  $\mu\text{m}$  und 20  $\mu\text{m}$ . Die verschiedenen Farbtöne des Falschfarnebildes stehen für verschiedene Temperaturen (je höher die Temperatur, desto heller erscheinen die Rot-Töne).



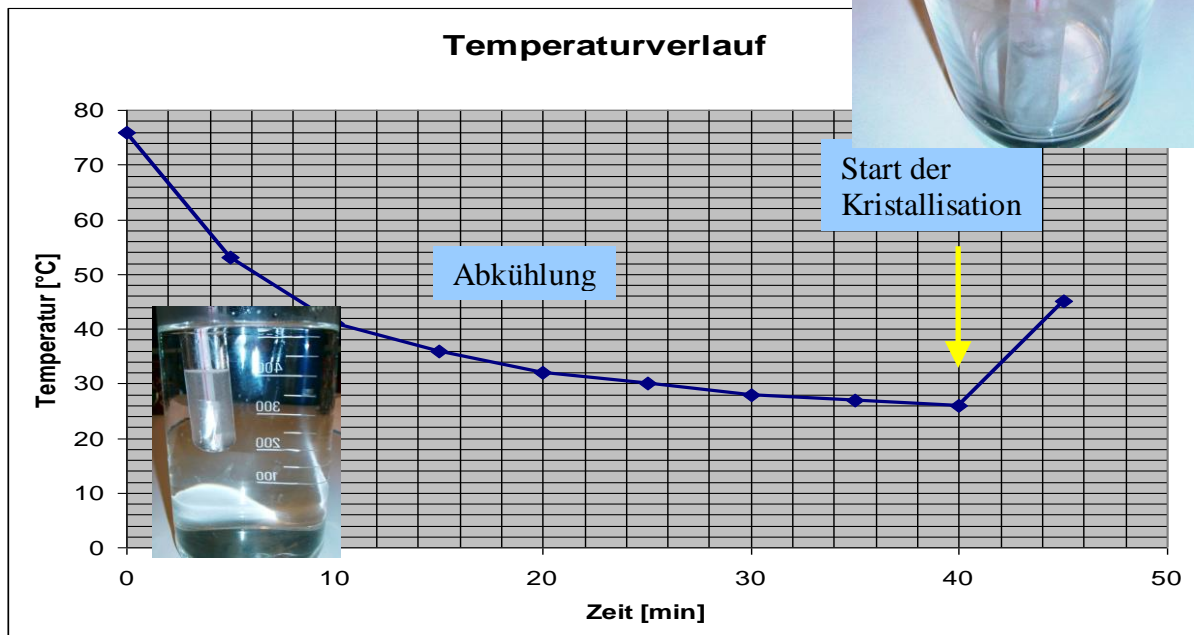
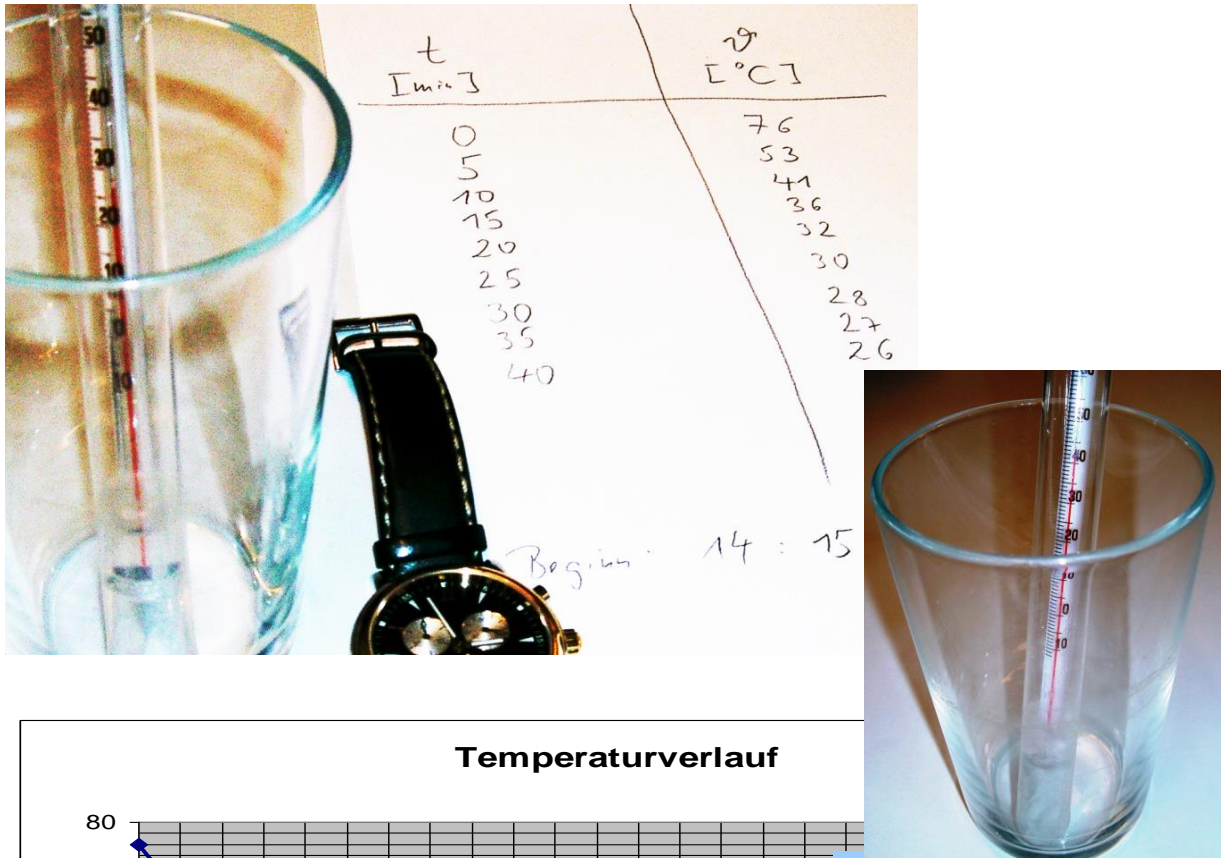
Großer Roter Fleck, aufgenommen im sichtbaren Licht.

©: NASA/JPL/ESO and NASA/ESA/GSFC – <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA12869>, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10687683>.

1. Eine Gasblase steigt nach oben, wenn sie leichter ist und sinkt nach unten, wenn sie schwerer ist als das umgebende Gas. Die Gasblase ist (bei gleichbleibendem Druck) dann schwerer, wenn sie eine geringere Temperatur besitzt. Im Falschfarnebild oben sieht man, dass das Innere des Großen Roten Flecks (GRF) zumeist in sehr dunklen Rottönen erscheint. Diese zeigen also tiefere Temperatur an als die helleren Rot-Töne.
2. Die Jupiteratmosphäre ist im Vergleich zum GRF etwas wärmer. Der GRF ist mit  $-160\text{ °C}$  ein Kaltgebiet der Jupiteratmosphäre.
3. Die Forscher stellten fest, dass das Zentrum des Flecks im Bild heller erscheint, was auf ein Gebiet höherer Temperatur schließen lässt (etwa  $3\text{-}4\text{ °C}$  mehr). Während sich der Sturm gegen den Uhrzeigersinn dreht, tut er es im Zentrum umgekehrt.

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

## Arbeitsblatt zum Experiment: „Latente Wärme bei der Fixiersalzkristallisation“ Beispielergebnisse



Das obige Bild zeigt die Messwerttabelle für eine Beispielmessung (nur der letzte Wert nach dem Start der Kristallisation fehlt).

Der Temperaturverlauf zeigt zunächst den Abkühlvorgang der Fixiersalzlösung. Das im Diagramm unter der Abkühlkurve stehende Bild zeigt, dass die Fixiersalzlösung nur leicht trübe ist. Das Thermometer ist in der Lösung zu sehen.

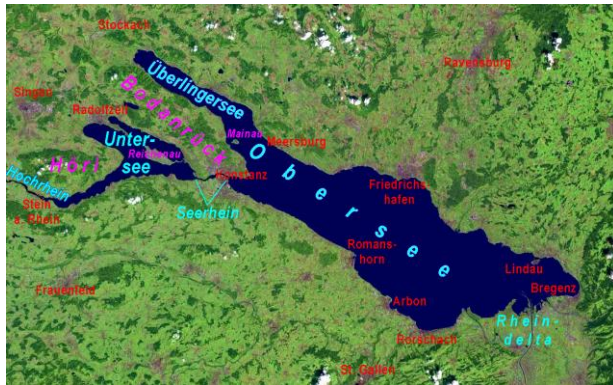
Nachdem ein Fixiersalzkörnchen in die Lösung geworfen wurde und diese dazu noch kräftig erschüttelt wurde, startete die Kristallisation, und die Temperatur stieg wieder an. Das Bild über diesem Teil der Kurve zeigt eine Temperatur von mehr als 40 °C an, nachdem die Temperatur zuvor bis auf 26 °C gefallen war.

[\(→ zurück zum Anfang\)](#)

## Aufgabe zur Kondensationswärme in einem tropischen Wirbelsturm

Tropische Wirbelstürme entstehen aus Tiefdruckwirbeln, die Energie aufnehmen aus der Kondensationswärme feuchtwarmer Meeresluft. Bei einer Wassertemperatur von 27°C verdampft von einer Meeresoberfläche der Größe Frankreichs in einigen Tagen die Wassermenge des Bodensees. Dieser fasst 48,5 Milliarden Kubikmeter. Beim Verdampfen nimmt das Wasser Verdampfungswärme auf, die beim Kondensieren wieder frei wird.

Welcher Betrag an Kondensationswärme  $Q_V^*$  wird bei der Entstehung eines tropischen Wirbelsturms frei, der die Wassermenge des Bodensees aufnimmt?



Luftaufnahme des Bodensees. ©: gemeinfrei.

Vergleiche den ermittelten Wert mit der Energiemenge, die Block B des Atomkraftwerks Biblis (Leistung: 1,2 MW) erzeugt oder mit der Energie, die bei der Explosion der Hiroshima-Bombe (Sprengwirkung von 13 Kilotonnen TNT) frei wurde.

Eine kt TNT-Sprengstoff setzt eine Energie von  $4184 \cdot 10^{12}$  J frei. Wasser hat eine spezifische Kondensationswärme  $q_V$  (Kondensationswärme pro Masse) von 2257 kJ/kg.

\* Es wird hier die Verdampfungswärme  $Q_V$  angegeben, die der Kondensationswärme betragsmäßig entspricht.

Geg.:  $q_V = 2257 \text{ kJ/kg}$ ,  $V = 48,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ ,  $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$

$P_{\text{Biblis B}} = 1,2 \cdot 10^6 \text{ W}$ ,  $1 \text{ Ws} = 1 \text{ J}$ ,  $E_{\text{Hiroshima}} = 13 \cdot 10^3 \text{ t TNT}$ ,  $1 \text{ t TNT} \rightarrow 4184 \cdot 10^{12} \text{ J}$

Ges.:  $Q_V$  in J, Vergleiche

Lösung:

$$Q_V = q_V \cdot m = q_V \cdot \rho \cdot V$$

$$Q_V = \frac{2257 \text{ kJ}}{\text{kg}} \cdot 48,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3 \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{2257 \text{ kJ}}{\text{kg}} \cdot 48,5 \cdot 10^{12} \text{ kg}$$

$$\underline{\underline{Q_V \approx 1,1 \cdot 10^{17} \text{ kJ.}}}$$

**Vergleich 1:**

1 Tag: 24 mal 60 mal 60 Sekunden

$$\frac{E_{\text{Biblis B}}}{E} = \frac{1,2 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \text{ s}}{1,1 \cdot 10^{20} \text{ J}} \approx \frac{10^{11} \text{ J}}{10^{20} \text{ J}} \approx \underline{\underline{10^{-9}}}$$

**Vergleich 2:**

1 Kilotonne TNT setzt eine Energie von  $4,184 \cdot 10^{15}$  J frei.

$$\frac{E_{\text{Hiroshima}}}{E} = \frac{13 \cdot 4,184 \cdot 10^{15}}{1,1 \cdot 10^{20} \text{ J}} \approx \frac{5 \cdot 10^{16} \text{ J}}{10^{20} \text{ J}} \approx \underline{\underline{0,0005}}$$

Aus der Kondensationswärme der Wassermenge des Bodensees wird dem anfänglichen Tiefdruckwirbel eine Energie zugeführt, die Block B des Atomkraftwerkes Biblis in mehr als 2,7 Mio Jahren erzeugt bzw., die in etwa 2000 Hiroshimabomben frei wird.