

Wirbelstürme auf Jupiter und Erde

Monika Maintz

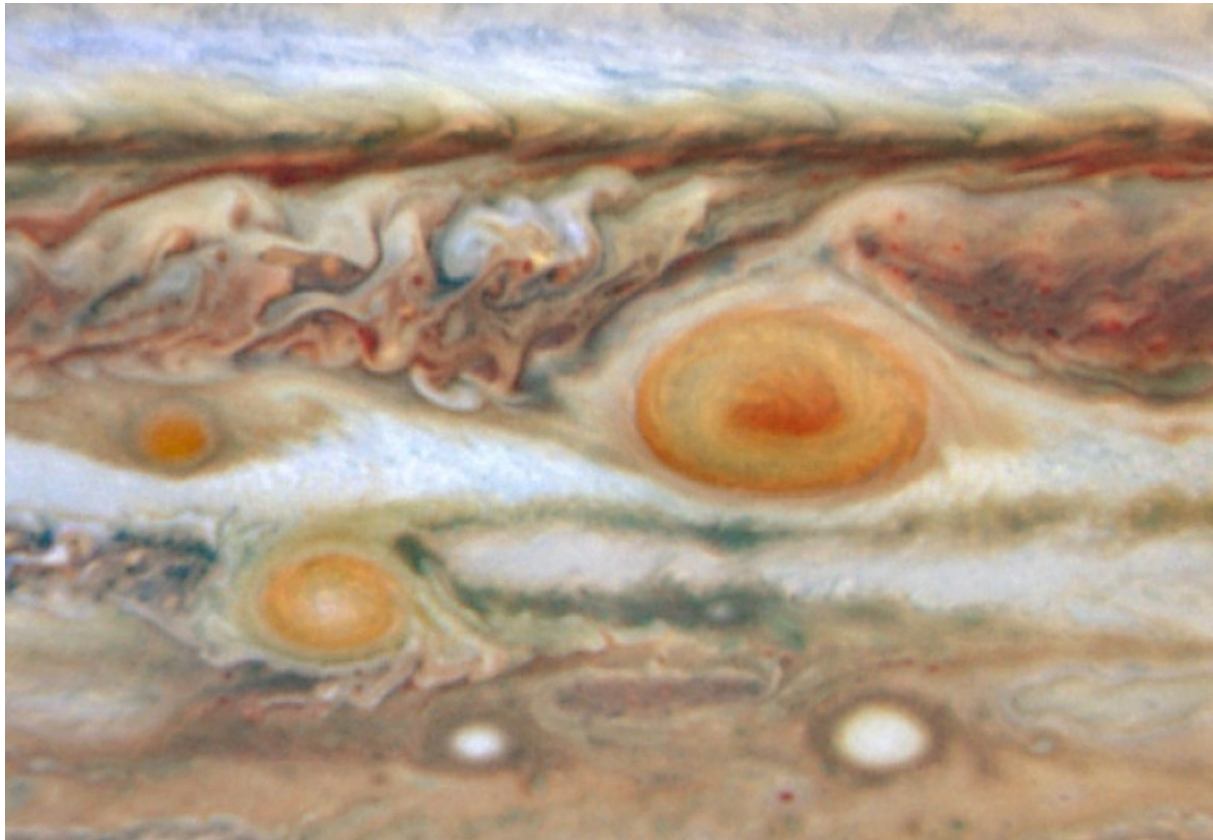


Abbildung 1: Der Große Rote Fleck und weitere ovale Sturmgebiete in der Jupiteratmosphäre. (Quelle: NASA)

Schon mit kleinen Fernrohren erkennt man auf Jupiter den „Großen Roten Fleck“ (Abb. 1, rechte Bildhälfte, rotes Oval). Bei dieser wohl bekanntesten Struktur in der Atmosphäre des Gasplaneten handelt es sich um ein riesiges Sturmgebiet. Auch die zahlreichen Wolkenbänder in der Jupiteratmosphäre belegen, dass Wetterphänomene nicht nur auf die Erdatmosphäre beschränkt sind. Wetter ist vielmehr eine ganz normale Erscheinung, die in den Atmosphären aller Planeten im Sonnensystem vorkommt. Im Folgenden werden Wetterphänomene in der Jupiteratmosphäre mit dem Wettergeschehen auf der Erde verglichen. Die Unterschiede erlauben Rückschlüsse auf Eigenschaften von Planeten mit und ohne feste Oberflächen.

Übersicht der Bezüge im WiS!-Beitrag		
Astronomie	Planeten	Die Erde als Planet, Gasplaneten, Planetenatmosphären
Physik	Mechanik	physikalisch sinnvolles Messen
Fächerverknüpfung	Astro-Geografie	Wettergeschehen, Wirbelstürme, Windgeschwindigkeiten, Naturvorgänge beobachten, beschreiben und interpretieren

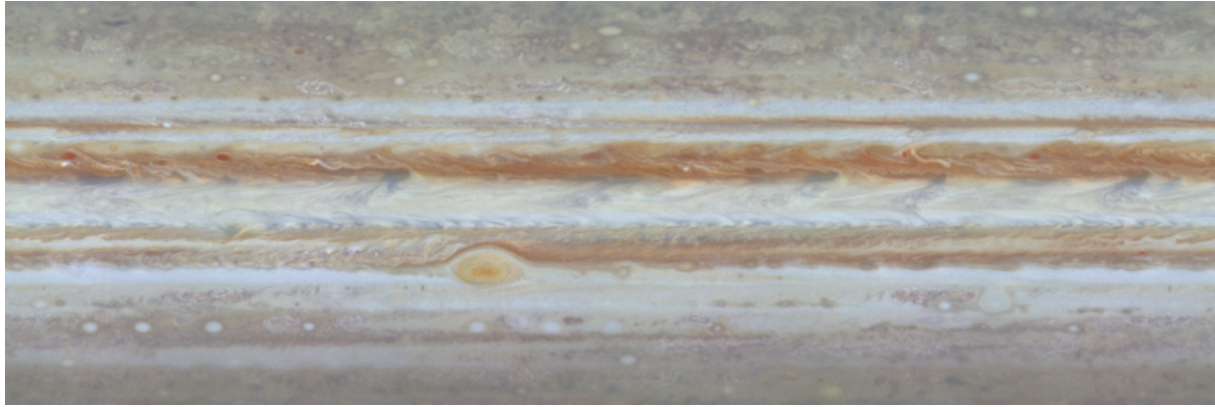


Abbildung 2: Blick auf die Atmosphäre des Jupiters: Deutlich zu erkennen sind bandartige Wolkenstrukturen sowie rötliche, bräunliche und weiße ovale Sturmgebiete. Der Große Rote Fleck ist als rötlich-bräunliches Oval in der linken Bildhälfte etwas unterhalb der Bildmitte zu erkennen. (Quelle: Cassini Imaging Team, Cassini Project, NASA; Astronomical Picture of the Day, APOD, vom 15. Februar 2001)

1. Stürmische Jupiteratmosphäre

Alle Strukturen, die man auf Jupiter mit Teleskopen oder Raumsonden erkennen kann, sind Wolkenstrukturen (Abb. 2). Am auffälligsten sind die sich abwechselnden dunklen und hellen Streifen, die parallel zum Äquator verlaufen. Diese Wolkenbänder sind rötlich, orange, bräunlich, gelblich oder sogar bläulich gefärbt. Sie werden von Winden angetrieben, die Spitzengeschwindigkeiten von 540 km/h erreichen. Damit sind sie deutlich schneller als die schnellsten Jet-Strömungen in der Erdatmosphäre!

Auch riesige ovale Sturmgebiete fallen deutlich ins Auge. Sie sind rötlich, bräunlich oder weiß gefärbt. Das größte dieser Sturmsysteme ist der Große Rote Fleck (Abb. 1 und 2). Er wurde bereits kurz nach der Erfindung des Fernrohrs entdeckt und existiert daher mindestens seit 300 Jahren! Auch andere Wolkenstrukturen sind im Vergleich zu meteorologischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre extrem langlebig und bestehen über Tage, Monate oder Jahrzehnte hinweg. Der Große Rote Fleck ist nicht nur extrem langlebig, sondern auch der größte Wirbelsturm im Sonnensystem. Würde man ihn auf die Größenverhältnisse auf der Erde übertragen, würde er die stärksten Hurrikans hinsichtlich ihrer Ausdehnung und Stärke bei weitem übertreffen. Er befindet sich auf der Südhalbkugel von Jupiter und liegt zwischen zwei Wolkenbändern. Im Laufe der Zeit verändert er seine Farbe und Größe und wandert langsam um Jupiter herum. Seit einigen Jahrzehnten ist er wieder am Schrumpfen.

Wie dramatisch das Wettergeschehen in der Jupiteratmosphäre tatsächlich ist, lässt sich auf einem statischen Bild wie in Abbildung 2 nicht erkennen. Es wird erst deutlich, wenn man den Gasplaneten über längere Zeiträume von Stunden und Tagen hinweg beobachtet.

Aufgabe 1: Betrachte die beiden Animationen *Jupiter-Animation_Voyager.gif*¹ und *Jupiter-Animation_Cassini.gif*². Wie verhalten sich die Wolkenbänder und die Sturmgebiete auf Jupiter? Beobachte insbesondere das Verhalten des Großen Roten Flecks. In welche Richtung rotiert er? Was passiert mit kleinen ovalen Sturmgebieten, die in seine Nähe kommen?

¹ *Jupiter-Animation_Voyager.gif*: Die Aufnahmen wurden von der Raumsonde Voyager bei ihrem Anflug auf Jupiter im Jahr 1979 gemacht. Sie zeigen das Verhalten der Jupiteratmosphäre in einem Zeitraum von einem Monat. (Quelle: [de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_\(Planet\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Jupiter_(Planet)))

² *Jupiter-Animation_Cassini.gif*: Die Animation besteht aus 14 Einzelbildern, die von der Raumsonde Cassini im Jahr 2000 aufgenommen wurden. Man sieht, wie sich die Wolkenstrukturen in der Jupiteratmosphäre in einem Zeitraum von zehn Tagen verändern. (Quelle: Cassini Imaging Team, Cassini Project, NASA; Astronomical Picture of the Day, APOD, vom 15. Februar 2001)

Planeteneigenschaften von Jupiter und Erde im Vergleich

<i>Planeteneigenschaften</i>	<i>Jupiter</i>	<i>Erde</i>
<i>Mittlere Entfernung zur Sonne</i>	<i>778,4 Mio km</i>	<i>149,6 Mio km</i>
<i>Umlaufzeit um die Sonne</i>	<i>11,86 Jahre</i>	<i>1 Jahr</i>
<i>Mittlere Bahngeschwindigkeit</i>	<i>13,07 km/s</i>	<i>29,8 km/s</i>
<i>Kleinster Abstand von der Erde</i>	<i>588,5 Mio. km</i>	<i>—</i>
<i>Größter Abstand von der Erde</i>	<i>968,1 Mio km</i>	<i>—</i>
<i>Äquatordurchmesser</i>	<i>142984 km</i>	<i>12756 km</i>
<i>Poldurchmesser</i>	<i>133708 km</i>	<i>12712 km</i>
<i>Masse</i>	<i>$1,899 \cdot 10^{27}$ kg (≈ 318 Erdmassen)</i>	<i>$5,974 \cdot 10^{24}$ kg</i>
<i>Mittlere Dichte</i>	<i>$1,33$ g/cm³ (etwa 1/4 der Erddichte)</i>	<i>$5,52$ g/cm³</i>
<i>Rotationsdauer</i>	<i>9 h 50 min 30 s (in Äquatornähe) 9 h 55 min 40 s (in höheren Breiten)</i>	<i>24 h</i>

Tabelle 1: Eigenschaften des Gasplaneten Jupiter im Vergleich zum Gesteinsplaneten Erde. Die geringe Dichte von Jupiter entspricht in etwa der Dichte von verflüssigten Gasen. Gasriesen wie Jupiter besitzen eine differentielle Rotation, d.h. Gebiete in Äquaturnähe rotieren schneller als Gebiete in höheren geographischen Breiten. Die Erde verhält sich dagegen wie ein starrer Körper und hat demzufolge überall die gleiche Rotationsdauer.

2. Wichtige Begriffe aus der Wetterkunde (Meteorologie)

Wie in jeder Wissenschaft so verwendet man auch in der Wetterkunde oder Meteorologie zahlreiche Fachbegriffe, um die verschiedenen Naturerscheinungen eindeutig zu beschreiben. Mit einigen dieser Begriffe, die für das Verständnis der Vorgänge in Planetenatmosphären wichtig sind, wollen wir uns nun vertraut machen.

Aufgabe 2: Was versteht man in der Meteorologie unter folgenden Fachbegriffen, welche Eigenschaften haben diese Erscheinungen und wie kommen sie zustande?

- | | | |
|--------------------|---------------------------|-------------|
| a) Wind | e) Zyklone | i) Hurrikan |
| b) Windstärke | f) Antizyklone | j) Taifun |
| c) Tiefdruckgebiet | g) Wirbel | k) Zyklon |
| d) Hochdruckgebiet | h) Tropischer Wirbelsturm | l) Tornado |

3. Eigenschaften von Wirbelstürmen auf Jupiter und auf der Erde

Wie in der Jupiteratmosphäre so gibt es auch in der Erdatmosphäre zahlreiche Sturmsysteme, Luftströmungen und Wolkenstrukturen. Im Vergleich zu Jupiter sind die meteorologischen Erscheinungen in der Erdatmosphäre jedoch äußerst kurzlebig. Selbst die energiereichsten tropischen Wirbelstürme lösen sich spätestens nach zwei bis drei Wochen wieder auf. Andere Wolkenstrukturen und Sturmsysteme überdauern sogar nur wenige Stunden oder Tage. Die irdischen Wetterphänomene sind aber nicht nur wesentlich kurzlebiger als die vergleichbaren Erscheinungen in der Jupiteratmosphäre, sie sind auch wesentlich energieärmer. Daher kann man das irdische Wetter im Vergleich zum „Hexenkessel Jupiteratmosphäre“ getrost als „laues Lüftchen“ bezeichnen.

Um ein Gespür für das Ausmaß und die Stärke der Wetterphänomene auf Jupiter und auf der Erde zu bekommen, vergleichen wir Sturmgebiete auf beiden Planeten. Wir betrachten dazu wieder den Großen Roten Fleck in der Jupiteratmosphäre und einen Hurrikan, der zu den stärksten Sturmarten auf der Erde zählt. Als Beispiel nehmen wir den Hurrikan Isabel, der im September 2003 Teile der Ostküste der USA verwüstete.

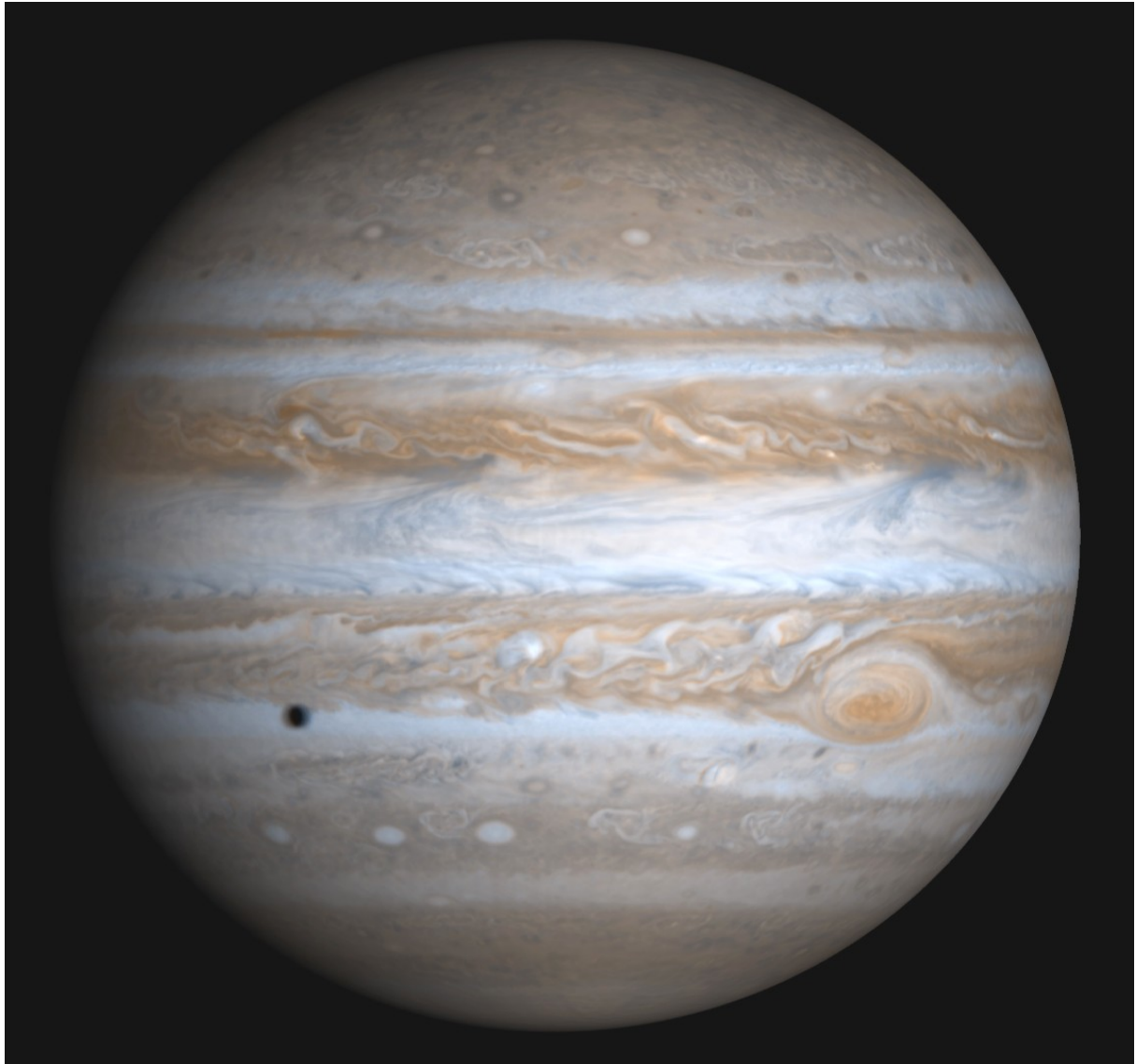


Abbildung 3: Riesenplanet Jupiter, fotografiert am 7. Dezember 2000 von der Raumsonde **Cassini**. Links unten ist der Schatten des Jupitermondes **Europa** als schwarzer runder Fleck erkennbar. (Quelle: NASA)

Aufgabe 3.1: *Schätze die Größe des Großen Roten Flecks in der Jupiteratmosphäre ab. Verwende dazu Abbildung 3 und Tabelle 1.*

Arbeitsanleitung: *Bestimme den relativen Durchmesser von Jupiter sowie die relative Höhe und Breite des Großen Roten Flecks. Messe dazu in Abb. 3 die Länge der jeweiligen Strukturen. Was ist bei der Messung zu beachten? Wie genau kannst du überhaupt messen? Wo können weitere Fehler auftreten? Berechne nun aus deinen gemessenen Werten und mit Hilfe des in Tab. 1 gegebenen Werts für den tatsächlichen Durchmesser Jupiters die Höhe und Breite des Großen Roten Flecks in km. Auf wie viel km genau kannst du deine Ergebnisse angeben, damit die Werte physikalisch sinnvoll sind?*

Aufgabe 3.2: *Wie groß ist der Große Rote Fleck im Vergleich zur Erde? (Der Durchmesser der Erde ist in Tab. 1 gegeben.) Vergleiche die Größe der Erde mit der von dir berechneten Größe des Großen Roten Flecks. Überprüfe die Genauigkeit deiner Größenbestimmung mit Hilfe des in SuW, Heft 9/2008, auf S. 17 gegebenen Größenvergleichs. Wie gut passen die von dir berechneten Werte? Wie lassen sich mögliche Abweichungen erklären?*

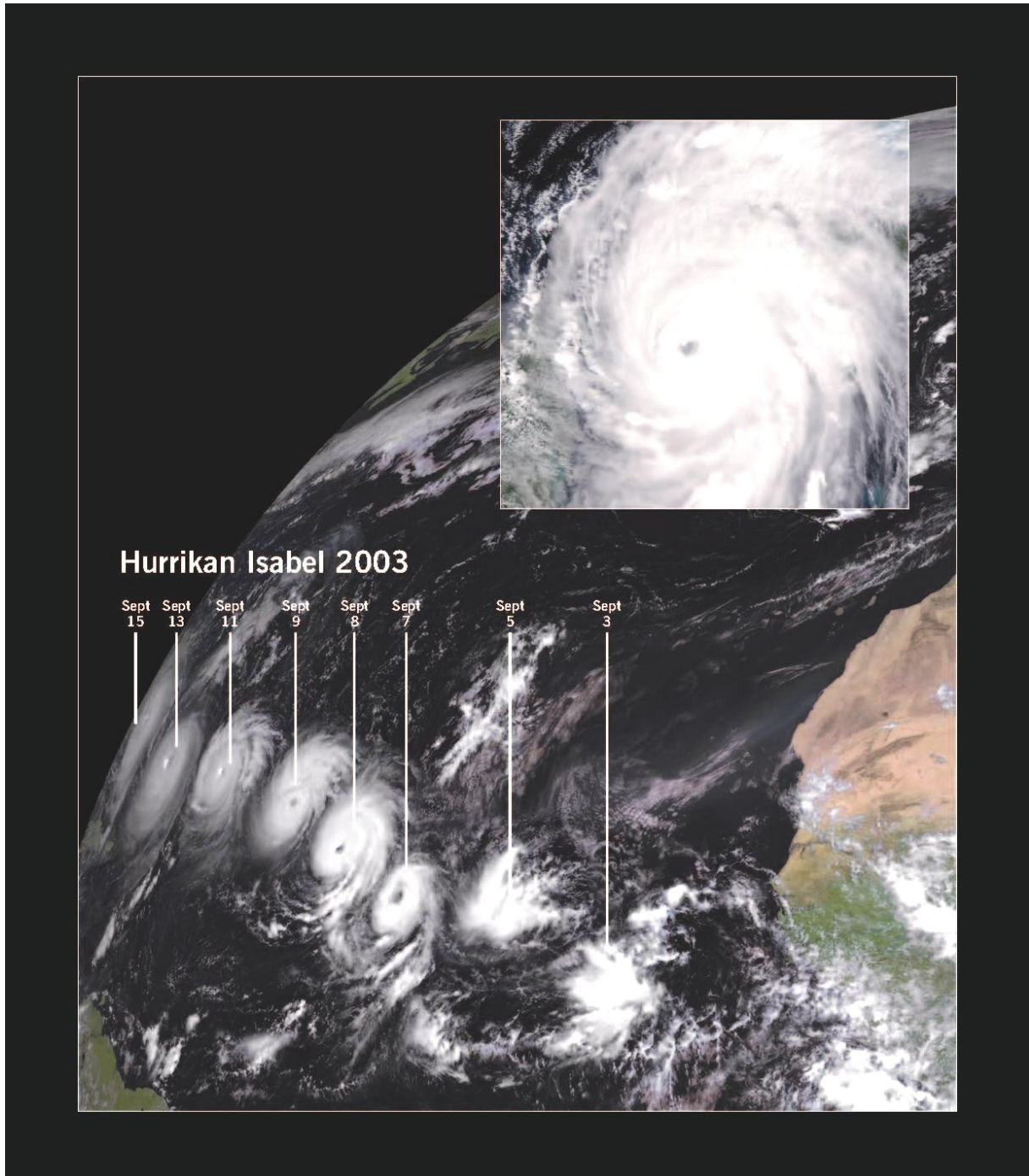


Abbildung 4: Hurrikan Isabel, Collage aus Aufnahmen von die Pole umlaufenden Satelliten aus 800 km Höhe. Das Bild zeigt den Zug des Hurrikans von seinem Entstehungsort vor der Westküste Afrikas über den Atlantik bis zur amerikanischen Ostküste. (Quelle: www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/8514/Bild_-_Wirbelstuerme.jpg)

Aufgabe 3.3: Schätze die Größe des Hurrikans Isabel ab. Verwende dazu Abbildung 4.

Arbeitsanleitung: In Abb. 4 ist rechts unten ein Teil des Küstenbereichs eines Kontinents zu sehen. Aus der Bildunterschrift geht hervor, um welches Gebiet es sich handelt. Bestimme mit Hilfe eines Atlases die Entfernung zwischen markanten geographischen Punkten in diesem Gebiet. Damit hast du ein Maß, mit dem du die Größe von Strukturen auf dem Satellitenbild abschätzen kannst. Was ist dabei zu beachten? Wie genau lässt sich die Größe von Hurrikan Isabel auf diese Weise ermitteln?

Beaufortgrad		Auswirkungen des Windes:		Windgeschwindigkeiten		
		im Binnenland	auf See	m/s	km/h	Kn
0	Windstille	Rauch steigt senkrecht auf	Spiegelglatte See	0-0,2	0-0,7	0-1
1	Leiser Zug	Wind wird durch Zug des Rauches angezeigt, Windfahne bewegt sich nicht	Kleine Kräuselwellen ohne Schaumkämme	0,3-1,5	0,78-5,4	1-3
2	Leichte Brise	Wind im Gesicht fühlbar, Windfahne bewegt sich, Blätter säuseln	Kleine Wellen, noch kurz aber ausgeprägter; Kämme sehen glasig aus, brechen noch nicht	1,6-3,3	5,5-11,9	4-6
3	Schwache Brise	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wimpel strecken sich	Kämme beginnen zu brechen, Schaum überwiegend glasig, vereinzelt kleine weiße Schaumköpfe	3,4-5,4	12,0-19,4	7-10
4	Mäßige Brise	Zweige und dünne Äste bewegen sich, Staub und loses Papier wird fortbewegt	Wellen noch klein, sie werden aber länger; weiße Schaumköpfe treten ziemlich verbreitet auf	5,5-7,9	19,5-28,4	11-15
5	Frische Brise	Schaumkämme bilden sich auf Seen, kleine Laubbäume schwancken	Mäßige Wellen mit ausgeprägter langer Form, überall weiße Schaumköpfe, vereinzelt Gischt	8,0-10,7	28,5-38,5	16-21
6	Starker Wind	Starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Telegraphenleitungen	Bildung großer Wellen beginnt, Kämme brechen und hinterlassen größere weiße Schaumflächen, etwas Gischt	10,8-13,8	38,6-49,7	22-27
7	Steifer Wind	Ganze Bäume in Bewegung, Wind peitscht Fahnen, Hemmung beim Gehen gegen den Wind	See türmt sich auf, beim Brechen entstehender weißer Schaum beginnt sich in Streifen in die Windrichtung zu legen	13,9-17,1	49,8-61,6	28-33
8	Stürmischer Wind	Zweige brechen von den Bäumen, Gehen im Freien erheblich erschwert	Mäßig hohe Wellenberge mit Kämmen von beträchtlicher Länge, von den Kanten der Kämme beginnt Gischt abzuwehen	17,2-20,7	61,7-74,5	34-40
9	Sturm	Äste brechen, kleinere Schäden an Häusern (Dachziegel werden abgeworfen)	Hohe Wellenberge, dichte Schaumstreifen in Windrichtung, „Rollen“ der See beginnt, Gischt kann Sicht schon beeinträchtigen	20,8-24,4	74,6-87,8	41-47
10	Schwerer Sturm	Bäume werden entwurzelt, bedeutende Schäden an Häusern	Sehr hohe Wellenberge mit langen überbrechenden Kämmen, See weiß durch Schaum, Rollen der See schwer und stoßartig, Sicht durch Gischt beeinträchtigt	24,5-28,4	87,9-102,2	48-55
11	Orkanartiger Sturm	Verbreitete Sturmschäden (sehr selten im Binnenland)	Außergewöhnlich hohe Wellenberge, Kanten der Wellenkämme werden überall zu Gischt zerblasen, Sicht ist herabgesetzt	28,5-32,6	102,3-117,4	56-63
12	Orkan	Schwerste Verwüstungen	Luft mit Schaum und Gischt angefüllt, See völlig weiß, Sicht sehr stark herabgesetzt, jede Fernsicht hört auf	32,7-36,9	117,5-132,8	64-72
13	Nur in Wirbelstürmen und höheren Teilen der Atmosphäre			37,0-41,4	132,9-149,0	73-81
14				41,5-46,1	149,1-166,0	82-90
15				46,2-50,9	166,1-183,2	91-99
16				51,0-56,0	183,3-201,6	100-109
17				über 56,0	über 201,6	über 109

Tab 2: Windstärkeskala nach Beaufort. Die Windgeschwindigkeiten ist in den Einheiten m/s, km/h und Knoten (kn) angegeben. Die Einheit „Knoten“ stammt aus der Seefahrt. Sie wird verwendet, um die Geschwindigkeit von Schiffen anzugeben. Es gilt: 1 kn = 1 Seemeile/Stunde = 1,852 km/h.

Quellen: www.wetterstation-elstra.de/Monate/Sep-Dez/Windstarkeskala_nach_Beaufort.htm
www.uni-giessen.de/ilr/gaeth/lehrveranstaltungen/BKA_09/6.2-Winderosion.pdf
www.stadtklima-stuttgart.de/stadtklima_filestorage/download/Windstaerkeskala.doc

Aufgabe 3.4: *Wie groß ist Hurrikan Isabel im Vergleich zur Erde? Wie groß ist er im Vergleich zum Großen Roten Fleck? Was kann man aus der Größe der beiden Wirbelstürme über deren Mächtigkeit aussagen?*

Aufgabe 3.5: *Vergleiche die Windgeschwindigkeiten, die im Großen Roten Fleck auftreten (SuW, Heft 9/2008, S. 17), mit den Spitzenwindgeschwindigkeiten, die in den stärksten irdischen Wirbelstürmen wie Hurrikanen gemessen werden (Tab. 2). Was kann man aufgrund der Windgeschwindigkeiten über die Mächtigkeit des Großen Roten Flecks und tropischer Wirbelstürme auf der Erde aussagen? Bestätigen sie das Ergebnis aus Aufgabe 3.4?*

Aufgabe 3.6: *Warum ist es erlaubt, die Aussagen über Hurrikan Isabel auf Hurrikane allgemein zu übertragen? (Lösungshilfe: Vergewenwärtige dir noch einmal die Definition der meteorologischen Erscheinung „Hurrikan“ aus Aufgabe 2. Welche Eigenschaften haben Hurrikane? Was verbirgt sich letztlich hinter dieser Definition? Warum ist es sinnvoll, Objektklassen zu definieren?) Ist es folglich gerechtfertigt, aufgrund der Erkenntnisse über Hurrikan Isabel die stärksten Wirbelstürme auf der Erde im Vergleich zum stärksten Wirbelsturm auf Jupiter generell als „laue Lüftchen“ zu bezeichnen? Warum?*

Aufgabe 3.7: *Sieh dir die Animationen HurricaneIsabelGenesis_640x480.mpg³ und Jupiter-Animation_Cassini.gif an. Um welche Art von Luftwirbel handelt es sich beim Großen Roten Fleck und beim Hurrikan Isabel (und damit bei allen Hurrikanen, wie wir in Aufgabe 3.6 gesehen haben)? Sind es Tiefdruckwirbel (Zyklonen) oder Hochdruckwirbel (Antizyklonen)? Woran erkennt man, zu welcher Objektklasse ein Wirbelsturm gehört?*

Aufgabe 3.8: *Betrachte noch einmal die Animation HurricaneIsabelGenesis_320x240.mpg. Konzentriere dich dabei besonders auf das Ende des Filmchens. Was passiert, wenn ein Hurrikan auf Land trifft? Warum? (Lösungshilfe: Überlege dir, wo und wie ein Hurrikan entsteht und woher bzw. wodurch er seine Energie bekommt.) Wie lange hat Hurrikan Isabel als Hurrikan existiert? Vergleiche dazu die Informationen in Fußnote 3 und Abb. 4.*

Aufgabe 3.9: *Der Große Rote Fleck auf Jupiter ist im Vergleich zu Wirbelstürmen auf der Erde extrem stabil und langlebig. Welche Gründe könnte es dafür geben? (Woher bezieht er seine Energie (siehe dazu auch SuW, Heft 9/2008, S. 17)? Warum kann er sich nicht einfach auflösen?) Aber nicht nur der Große Rote Fleck auch andere Wolkenstrukturen in der Jupiteratmosphäre existieren mehrere Tage, Monate oder sogar jahrzehntelang. Damit sind auch sie um ein Vielfaches langlebiger und stabiler als vergleichbare Strukturen in der Erdatmosphäre. Welchen Schluss kann man daraus ziehen? Wie muss Jupiter unterhalb seiner stürmischen Atmosphäre beschaffen sein? Kann man diese Schlussfolgerung generell auf alle Gasplaneten im Sonnensystem übertragen (vgl. Aufgabe 3.6)?*

³ HurricaneIsabelGenesis_640x480.mpg (Quelle: svs.gsfc.nasa.gov/vis/a000000/a002900/a002987/): Der Film zeigt die Entstehung und Entwicklung des Hurrikans Isabel und seine Wanderung von seinem Entstehungsort in Ostafrika über den Atlantik bis zur US-amerikanischen Ostküste. Am 25. August 2003 formte er sich als Tiefdruckgebiet über dem Hochland Äthiopiens. Aufgrund besonderer geographischer Gegebenheiten entstehen dort viele Tiefdruckgebiete, die sich später über dem Atlantik zu Wirbelstürmen weiterentwickeln. Von Äthiopien wanderte der Vorläufer des späteren Hurrikans (markiert durch blaues Fadenkreuz) über Afrika hinweg zum Atlantik. Dort verstärkte er sich und wurde am 6. September 2003 als Tropischer Sturm eingestuft. Über dem warmen Wasser des Atlantiks nahm er weiter an Größe und Geschwindigkeit zu und wanderte weiter in Richtung Amerika (Weg farblich gekennzeichnet). Am 18. September 2003 traf er schließlich auf Land und fegte mit 170 km/h über den Osten der USA hinweg. Er hinterließ schwerste Verwüstungen und Sachschäden in Höhe von rund fünf Milliarden US-Dollar. In stark abgeschwächter Form zog der Hurrikan weiter in Richtung Kanada und machte sich in Québec nur noch als Regen bemerkbar.