

Vulkanismus auf Jupitermond Io

In Bezug zur Nachricht „Großer Vulkanausbruch auf Jupitermond Io“ in der Zeitschrift „Sterne und Weltraum“ (SuW 11/2013)

Christian Wolff

Der Jupitermond Io ist der vulkanisch aktivste Himmelskörper in unserem Sonnensystem. Hunderte aktiver Vulkane verändern ständig das Bild seiner Oberfläche. (Abb. 1)

Auf den folgenden Seiten werden einige Unterrichtsideen vorgestellt, die sich thematisch sowohl mit den Ursachen des Io-Vulkanismus als auch mit den vulkanischen Ausbruchsformen beschäftigen. Die Anregungen dienen dazu, die theoretischen Grundlagen zu veranschaulichen und dadurch verständlicher zu machen.

Inhaltlich beziehen sich die Materialien auf den Artikel „Großer Vulkanausbruch auf Jupitermond Io“ aus Sterne und Weltraum 11/2013, der sich hervorragend als Einstieg in die Thematik eignet.

Im Einzelnen sollen nun folgende Unterrichtsaktivitäten vorgestellt werden:

1 Zu den Ursachen des Io-Vulkanismus

1.1 Die Laplace-Resonanz entdecken

1.2 Experiment: Simulation der Gezeitenkräfte Ios

2.0 Zu den Ausbruchsformen

2.1 Einen Vulkanausbruch auf Io simulieren

2.1.1 Der Zink-Schwefel-Vulkan

2.1.2 Der Schildvulkan

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Kleinkörper	Jupiter, Jupitermonde
Physik	Thermodynamik	Konvektion, latente Wärme
Fächer- verknüpfung	Astro-Geo	Gezeitenkräfte, Vulkanismus
Lehre allgemein	Kompetenzen (Wissen und Erkenntnis)	Experiment, Erheben von Daten zur Überprüfung von Hypothesen, Erklären physikalischer Phänomene komplexer Art aus Natur und Technik, Selbstständiger Aufbau und Durchführung eines Experiments, sachgerechter Nutzen einfacher Software

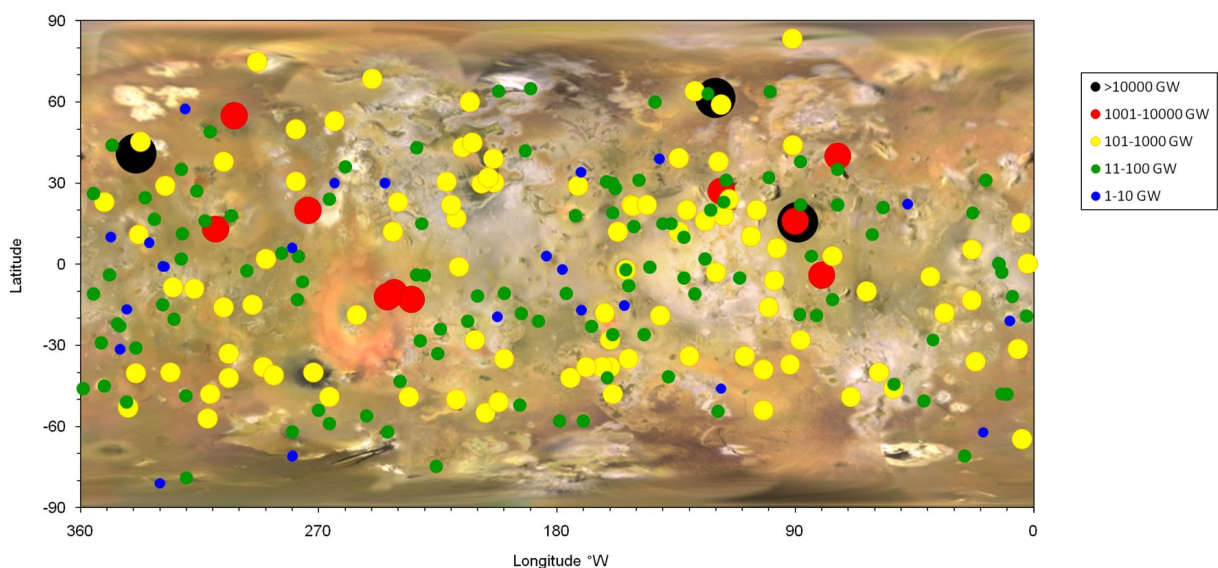


Abbildung 1: Karte der thermischen Emission bekannter Vulkane auf Io. Die Leistung der thermischen Emission der Vulkane wird durch Farbe und Größe der runden Tupfen dargestellt (Bildquelle: NASA).

1 Zu den Ursachen des Io-Vulkanismus

Die vulkanische Aktivität auf Io wird hauptsächlich durch die Gezeitenkräfte des Jupiters verursacht, die den Mond gewissermaßen "durchkneten" und dadurch aufheizen. Allein die Gezeitenkräfte, die auf Io einwirken, sind mehr als 6000-mal stärker als die des Erdmondes auf die Erde.

Aus diesem Grund sollte zu Beginn der Einheit sichergestellt sein, dass die Schülerinnen und Schüler das Phänomen der Gezeitenkräfte eigenständig nachvollziehen können. Neben einer theoretischen Erarbeitung eignet sich hierbei ein Gezeitensimulator zur Veranschaulichung. Unter dem folgenden Link können Sie einen solchen Gezeitensimulator aufrufen:

<http://www.planet-schule.de/sf/php/mmewin.php?id=18>

1.1 Die Laplace-Resonanz entdecken

Neben den Gezeitenkräften des Jupiters verstärkt die Bahnresonanz mit Ganymed und Europa das Aufheizen Ios. Die im Folgenden dargestellte Bahnresonanz wird auch Laplace-Resonanz genannt.

„Bei einer Laplace-Resonanz stehen die Umlaufzeiten *dreier oder mehrerer* Himmelskörper in einem niedrigen ganzzahligen Verhältnis zueinander. Das derzeit einzige bekannte System ist das der inneren drei Galileischen Monde des Jupiter Io, Europa und Ganymed. Ihre Umlauffrequenzen stehen in einer Resonanz von 4:2:1 – vier Io-Umläufe auf zwei Europa-Umläufe und einen Ganymed-Umlauf.“¹

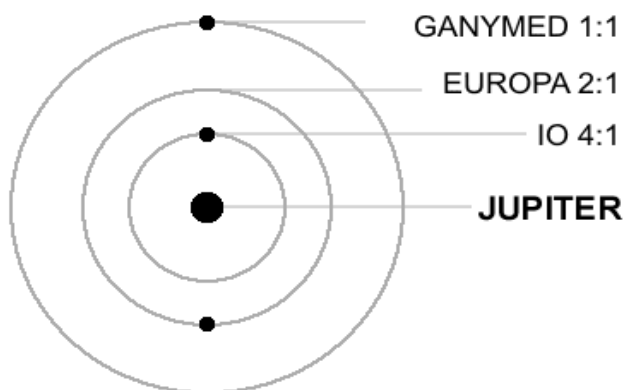


Abbildung 2: Laplace-Resonanz der drei Galileischen Monde (Bildquelle: Wikimedia Commons)

Eine gute Möglichkeit, Schülerinnen und Schüler die Laplace-Resonanz selbst entdecken zu lassen, ist der Einsatz einer Simulationssoftware, wie z.B. mit dem kostenlosen Onlineprogramm „*Eyes on the Solar System*“ des Jet Propulsion Laboratory (JPL).

Die folgenden Punkte zeigen, wie diese Simulation funktioniert:

1. Starten Sie das Programm über den folgenden Link <http://eyes.nasa.gov/> , indem Sie den „Launch“-Button anklicken.
2. Unter dem Menüpunkt „Destination“ können Sie nun direkt den Jupiter anfliegen. („Planets and Moons“ ⇒ „Jupiter“ ⇒ „Go“)

¹ Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Laplace-Resonanz> (10.10.2013)

3. Unter dem Punkt „Visual Controls“ klicken Sie nun auf das stilisierte Sonnensystem („Zoomed-out view“). Sie erhalten nun die gleiche Ansicht wie in Abbildung 3 auf der folgenden Seite.
4. Unter „Speed + Rate“ können Sie nun die Simulation beschleunigen, indem Sie den Regler weiter nach rechts schieben.
5. Die Schüler können nun mit ihren Beobachtungen beginnen. Der Arbeitsauftrag hierzu könnte etwa wie folgt lauten: *„Welche Beobachtungen kannst du in Bezug auf die Umlaufzeiten der Monde Io, Europa und Ganymed anstellen?“*

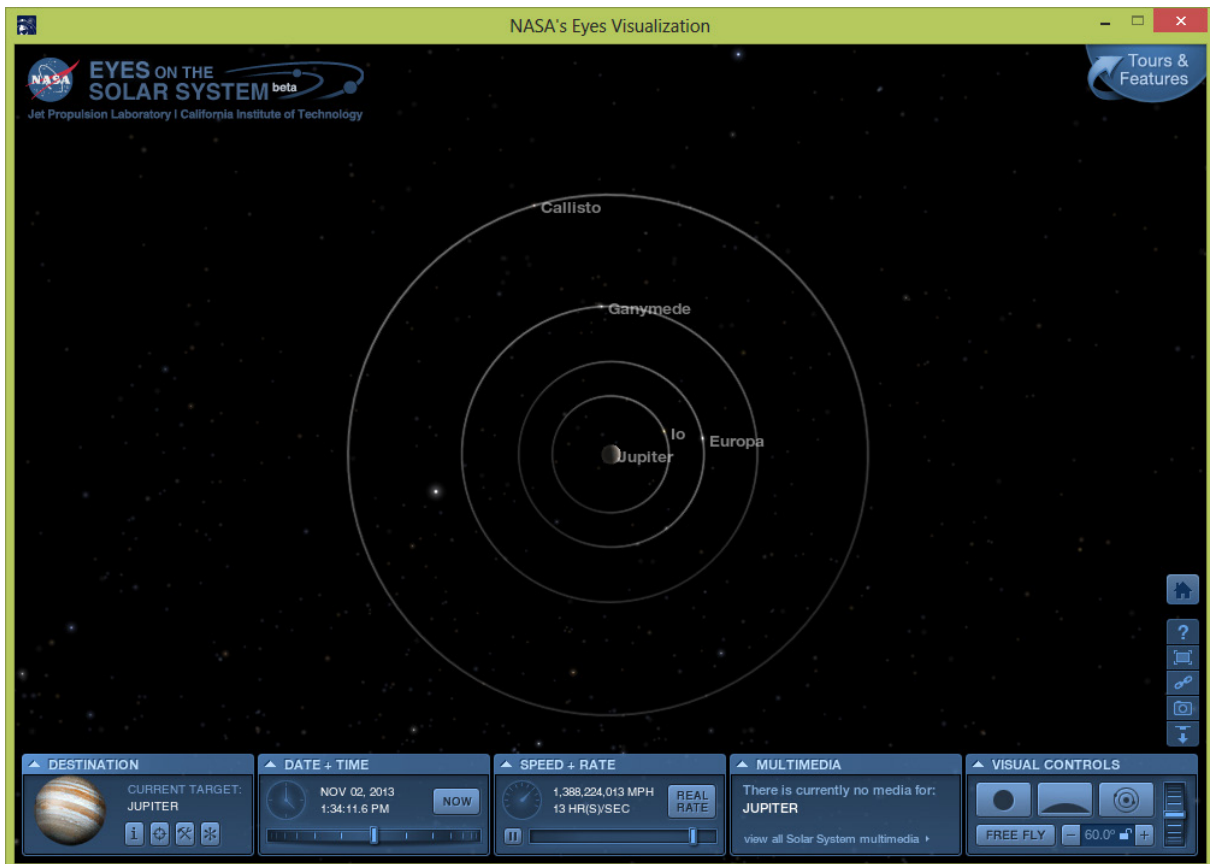


Abbildung 3: Screenshot des Onlineprogramms „Eyes on the Solar System“ des JPL

1.2 Experiment: Simulation der Gezeitenkräfte Ios

Mittels der folgenden beiden Arbeitsblätter wird nun ein Experiment² vorgestellt, welches das Aufheizen Ios durch die Gezeitenkräfte thematisiert.

Die Arbeitsblätter sind selbsterklärend, müssen allerdings noch in einen didaktischen Gesamtkontext eingebunden werden.

Insbesondere zur Lösung der zusätzlichen Fragen sollten die Schülerinnen und Schüler über elementare Grundkenntnisse in der Thermodynamik verfügen.

² Frei nach Ola Ka Honua: Volcanoes Alive, UAF Geophysical Institute, 2001 + 2007

AB) Experiment: Simulation der Gezeitenkräfte Ios - Teil 1

Fragestellung:

Wie wird durch das Zusammendrücken eines Balls die Temperatur in seinem Inneren beeinflusst?

Hintergrund:

Der Jupitermond Io ist der vulkanisch aktivste Himmelskörper in unserem Sonnensystem. In seinem Inneren herrschen hohe Temperaturen, deren Ursache es zu ergründen gilt.

Wie kommt es zudem, dass Io so heiß bleibt?

Antwort: Die Gravitationskräfte Jupiters auf der einen Seite und die seiner Monde Europa, Ganymed und Kallisto von der anderen Seite zerren und drücken Io in verschiedene Richtungen, was ihn in seinem Inneren ständig aufheizt.

Das folgende Experiment demonstriert anhand eines Knautschballs, wie eine solche „Gezeiten-Heizung“ („Tidal Heating“) funktioniert:

Hypothese:

Wenn der Ball regelmäßig zusammengedrückt wird, wird die Temperatur des Balls:

- a. steigen b. sinken c. gleich bleiben
-

Materialien:

2 Thermometer, 2 Knautschbälle, 1 Schere, 1 wasserfester Stift

Durchführung:

1. Schneide mit einer Schere jeweils ein Loch mittig in die Knautschbälle. Die Löcher sollten so groß sein, dass sie die Messspitzen der Thermometer gänzlich aufnehmen können.
2. Markiere einen Ball mit dem Buchstaben „A“ und den anderen Ball mit dem Buchstaben „B“.
3. Stecke die Thermometer in beide Bälle.
4. Notiere die Starttemperaturen einen jeden Balles in der Tabelle auf der folgenden Seite. Stelle dabei sicher, dass die Temperatur konstant bleibt.
5. Entferne die Thermometer.
6. Benutze die Fingerspitzen beider Hände um Ball „B“ rasch und wiederholt für 2 Minuten zusammenzudrücken.
7. Stecke die Thermometer wieder in beide Bälle, um die jeweiligen Temperaturen festzustellen. Notiere die Ergebnisse in der Tabelle.
8. Entferne die Thermometer erneut und drücke Ball „B“ rasch für weitere 2 Minuten zusammen (insgesamt für nun 4 Minuten).
9. Messe erneut die jeweiligen Temperaturen und notiere diese wieder in der Tabelle.

(AB) Experiment: Simulation der Gezeitenkräfte Ios - Teil 2

Messergebnisse:

	Starttemperatur	Temperatur nach 2 Minuten	Temperatur nach 4 Minuten
Ball A			
Ball B			

Analyse der Ergebnisse:

Die gesamte Temperaturveränderung in Ball A ist gleich die Temperatur nach 4 Minuten minus der Starttemperatur.

Die Temperaturveränderung in Ball A ist _____ - _____ = _____

Die gesamte Temperaturveränderung in Ball B ist gleich die Temperatur nach 4 Minuten minus der Starttemperatur.

Die Temperaturveränderung in Ball B ist _____ - _____ = _____

Schlussfolgerungen:

- A. Wurde deine Vermutung bewiesen oder widerlegt?
- B. Erkläre welcher Beweis deine Vermutung untermauert.

Zusätzliche Fragen:

- C. Erkläre, warum der Ball auf das Zusammendrücken so reagiert, wie er es tut.
- D. Erkläre warum Io auf die Gezeitenkräfte naher Himmelskörper so reagiert, wie er es tut.
- E. Welche Kraft wird genutzt, um den Ball in diesem Experiment zusammenzudrücken?
- F. Welche Kraft wirkt bei der „Gezeiten-Heizung“ Ios?

2 Zu den Ausbruchsformen

Das Thema „Vulkanismus“ ist ein fester curricularer Bestandteil des Geographieunterrichtes der Sekundarstufe I. Als Unterthema kann der „Vulkanismus auf anderen Planeten bzw. Monden“ einen zusätzlichen motivationalen Faktor darstellen.

Der Vulkanismus auf Io erzeugt Lavaströme, die in der Regel aus Basalt bestehen, vulkanische Schächte sowie Eruptionen aus Schwefel, Schwefelgas und Pyroklast. Die Lavaströme auf Io ähneln den irdischen Schildvulkanen wie z.B. denen des Kilauea auf Hawaii.

2.1 Einen Vulkanausbruch auf Io simulieren

Aufgrund der Tatsache, dass es auf Io sowohl eruptive Schwefelvulkane als auch effusive basaltische Schildvulkane gibt, wurden die folgenden beiden Vulkanexperimente zur allgemeinen Veranschaulichung ausgewählt.

2.1.1 Der Zink-Schwefel-Vulkan

Sicherheitshinweise:

Dieses Experiment sollte ausschließlich im Freien durchgeführt werden, es kann allerdings auch mit deutlich weniger Schwefel- und Zinkpulver in speziell dafür geeigneten Räumen (z.B. Chemiesaal) durchgeführt werden. Die Menge der „Zutaten“ muss in diesem Fall allerdings anteilmäßig umgerechnet und deutlich reduziert werden.

Materialien:

Eimer (10 l), Hocker oder Tisch, leere Dose (300 ml), Messer, Mörser und Pistill, Waage, Feuerzeug, Stricknadel

Chemikalien:

Sand, Schwefelpulver oder Schwefelblüte, Zinkpulver oder Zinkstaub

Durchführung:

Ein Eimer wird mit Sand gefüllt und auf eine geeignete Unterlage wie z.B. einen Hocker gestellt. In die Mitte des Sandes wird eine leere trockene Dose gesteckt. In diese Dose kommt eine Mischung aus 32 g Zinkstaub und 16 g feinem Schwefelpulver. Zum Zünden der Mischung eignet sich beispielsweise eine glühende Stricknadel. Vor dem Entzünden sollte sichergestellt sein, dass die Schüler einen Sicherheitsabstand von mindestens 5 Meter einhalten.



Ergebnis:

Nach dem Zünden der Mischung entsteht ein beeindruckender Vulkanausbruch. Grund: Zink reagiert in einer stark exothermen Reaktion mit Schwefel zu Zinksulfid.

Abbildung 4: Schwefelfumarole auf White Island, Neuseeland (Bildquelle: Wikimedia Commons)

2.1.2 Der Schildvulkan

Vulkanexperimente gibt es in den unterschiedlichsten Varianten. Das folgende Experiment beschreibt jedoch den Ausbruch eines Schildvulkans mit recht dünnflüssiger Lava, was den effusiven basaltischen Ausbrüchen auf Io recht nahe kommt.

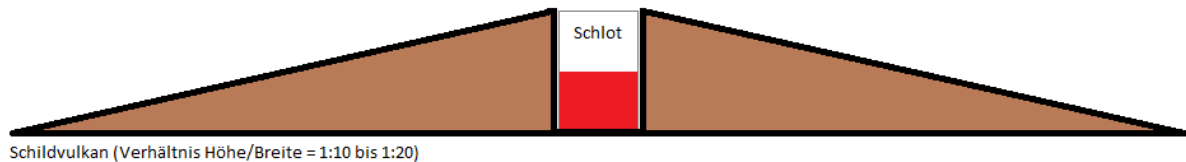


Abbildung 5: Modell des Schildvulkans (Bildquelle: Eigene Darstellung)

Materialien:

- Eine Unterlage gegen Verschmutzungen
- Knetmasse
- Eine Rührschüssel
- Etwa 2 Esslöffel Natron (= Natriumhydrogencarbonat) oder Backpulver
- Warmes Wasser
- Speiseessig (oder Zitronensaft)
- Geschirrspülmittel oder Flüssigseife
- Lebensmittelfarbe (am besten rot)
- Eine kleine PET-Flasche oder ein hohes schmales Glas

Durchführung:

Die Knetmasse dient dazu, einen Schildvulkan zu formen. Schildvulkane sind nicht sonderlich erhaben, sondern eher flach bzw. das Verhältnis zwischen ihrer Höhe und ihrem Fußdurchmesser beträgt meist nur 1:10 bis 1:20.

In der Mitte des Vulkans wird ein Loch oder Spalt (der Schlot) von etwa 5 cm Tiefe gebildet. Mischen Sie nun etwas Wasser, ein paar Tropfen Lebensmittelfarbe, das Natron oder Backpulver und ein paar Tropfen Spülmittel in einer Rührschüssel zusammen. Gießen Sie die Mischung nun in den Schlot des Vulkans.

Fügen Sie den Essig hinzu und beobachten Sie wie der Vulkan ausbricht.



Abbildung 6: Der aktive Vulkan Rarog Patera (Pfeil) und die durch Vulkanismus stark geprägte Oberfläche Ios. (Bildquelle: NASA)