

Einschlagskrater auf Planeten und Monden – ein Workshop für Schülerinnen und Schüler* ab 13 Jahre

Hinweise für die/den Workshopleiterin/leiter:**

- Die Übungen sind thematisch eingeteilt, je nach Alter können Übungen weggelassen oder ausführlicher behandelt werden, die Experimente können auch eigenständig durchgeführt werden
- Für jüngere Schüler müssen komplexe Begriffe möglicherweise zunächst erklärt werden, oder durch Umschreibungen ersetzt werden
- Ein Thema ist jeweils für einen Vor- oder Nachmittag gedacht, bei jüngeren Schülern evtl. für einen ganzen Tag
- Lesen Sie sich die Merksätze durch und informieren Sie sich in Büchern (Bibliothek) bzw. im Netz (s. Webseitenempfehlungen) über das Thema Einschlagskrater
- Bilder zur Entstehung von Kratern (s. Webseiten-Empfehlungen) druckt man am Besten auf Großformat aus oder bereitet Sie als PowerPoint Präsentation bzw. als Folienausdruck für den Projektor vor
- Merksätze (gekürzt) können an die Tafel geschrieben werden oder als Kopien ausgehändigt werden

Webseiten-Empfehlungen:

- <http://photojournal.jpl.nasa.gov/> Bilder von den Planetenoberflächen, klickt man auf den gewünschten Planet, so erscheinen ebenfalls die Monde als Auswahlpunkte, mit Beschreibung der abgebildeten Objekte (auf englisch)
- <http://www.geoinf.fu-berlin.de/forschung.php> Bilder der Mission Mars Express (Mars) und der Mission Cassini (Saturn und seine Monde) mit Beschreibungen (auf deutsch und englisch)
- http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/craters/crater_index.shtml Abbildungen mit Beschreibungen von Kratern (wenn man auf die Bilder klickt, auf englisch)
- <http://www.solarviews.com/germ/tercrate.htm> eine gute Seite mit Beispielen von Einschlagskratern auf der Erde (auf deutsch)
- <http://lexikon.astronomie.info/> einige hilfreiche Artikel mit guten Abbildungen (deutsch) z.B. <http://lexikon.astronomie.info/erde/krater/index.html> terrestrische Einschlagskrater, <http://lexikon.astronomie.info/meteorite/index.html> Meteorite, <http://lexikon.astronomie.info/TNT/TNT.html> Wahrscheinlichkeit und Auswirkung eines Einschlags (auf deutsch)
- <http://www.meteorite-recon.com/de/Meteoritensammlung.htm> Abbildungen von Meteoriten (auf deutsch und englisch)
- <http://www.lpi.usra.edu/nlsi/training/> gute Abbildungen zur Bildung von einfachen und komplexen Kratern (auf englisch)
- http://www.geologyrocks.co.uk/tutorials/meteor_craters Bildung der verschiedenen Krater mit Abbildungen (auf englisch)

* im Folgenden Schüler genannt

** im Folgenden als WSL abgekürzt

- <http://www.museum.hu-berlin.de/min/forsch/forsch.html> Webpräsenz der Impaktforschung an der Humboldt Universität Berlin/Museum für Naturkunde, Experimente und Modellierung (auf deutsch)
- <http://www.geopark-ries.de/> Webseite zum berühmten Einschlagskrater in Deutschland mit Beschreibungen zur Entstehung und zur Geologie (auf deutsch), empfehlenswertes Ziel für eine Exkursion!
- <http://mola.gsfc.nasa.gov/images.html> von dort kann man eine globale Höhenkarte des Mars herunterladen (auf englisch)
- http://www.lpi.usra.edu/publications/slidesets/clem2nd/slide_19.html Höhenkarte des Mondes von der Clementine Mission (auf englisch)
- http://wms.selene.jaxa.jp/selene_viewer/en/observation_mission/lalt/lalt_004.html Höhenkarte des Mondes von der Kaguya-Mission
- Außerdem erhält man Topografieinformationen aus der kostenlosen Version von GoogleEarth <http://earth.google.com/intl/de/> mit der man auch den Mars und Mond anschauen kann, diese Anwendung bietet auch eine große Auswahl an Bildern
- http://www.berlin-naturkundemuseum.de/forschung/for_pdfs/30-35_kenkmann.pdf Fachartikel zum Thema (auf deutsch), zu dem Fragen gestellt werden können

Wie entstehen Krater?

Vorbereitung WSL:

Einige Bilder von Kratern auf Mond, Erde, Mars, Merkur und Eismonden ausdrucken (s. Webseiten-Empfehlungen). Schilder mit den Aufschriften „einfacher Krater“, „komplexer Krater“, „Multiringbecken“ und den zugehörigen Eigenschaften vorbereiten.

Übungen:

Brainstorming - Alle Schüler versammeln sich um einen großen Tisch, auf dem Bilder von Kratern ausgelegt sind. Zunächst sollen Vorkenntnisse und Eindrücke gesammelt werden. Fragen: Welche Unterschiede gibt es, welche Gemeinsamkeiten sind erkennbar? (runde und elliptische Krater, Kraterketten, Krater mit Berg/Ring im Inneren) Wie entstehen Krater? (Einschläge von Körpern aus dem All) Wer hat schon einmal einen Krater gesehen? (in live oder auf einer Abbildung in einem Buch o.ä.) Krater sehen je nach Größe und Himmelskörper verschieden aus.

Beschreibung - Jeder Schüler wählt sich ein Bild aus und beschreibt den darauf zu sehenden Krater. Folgende Begriffe sollten verwendet werden: Aussehen des Kraterrandes – glatt/eben oder zerbrochen/zerstört, Aussehen des Kraterinneren – schüsselförmig/glatt, zentraler Berg/Ring oder andere Struktur, Aussehen der Kraterumgebung – Auswurfdecke, ein oder mehrere Ringe um den Krater. Auf welchem Himmelskörper könnte sich der gezeigte Krater befinden, warum?

Einteilung - Wie könnte man die verschiedenen Krater einteilen? Welche Eigenschaften treten immer zusammen auf? Es gibt 3 Gruppen von Kratern - einfach, komplex, Multiringkrater. Jeder Schüler ordnet sein ausgewähltes Bild der richtigen Gruppe zu.

Merksätze:

Krater entstehen durch den Einschlag von Projektilen (Meteoriten genannt) auf den Himmelskörpern.

Die Meteoriten können verschiedene Ursprünge haben: es sind Kometen, Asteroiden oder Meteoriden (achte auf den Unterschied: Meteorid – sehr kleiner Körper der die Sonne umkreist, Meteorit – Körper der auf einem Planeten/Mond eingeschlagen ist und einen

Krater hinterlässt, Meteor – Körper der in der Atmosphäre eines Planeten verglüht und dabei eine Leuchtspur hinterlässt, auch als Sternschnuppe bekannt). Asteroiden kommen aus dem Asteroidengürtel der sich zwischen den Umlaufbahnen von Mars und Saturn befindet (in 2-3,4 facher Erdentfernung von der Sonne). Kometen haben ihren Ursprung im äußeren Sonnensystem, jenseits der Plutobahn im Edgeworth-Kuiper-Gürtel oder noch weiter außerhalb. Sie haben einen Kern, der 1-50 km Durchmesser haben kann. In Sonnennähe bilden Kometen einen Schweif aus, Überreste dieses Schweifes bleiben nach dem Durchgang des Kometen durchs Sonnensystem auf den Kometenbahnen und bilden so genannte Meteorströme, wenn die Erde einen dieser Ströme auf ihrer Bahn kreuzt, sieht man besonders viele Sternschnuppen am Nachthimmel.

Meteorite werden je nach Zusammensetzung in 3 verschiedene Gruppen eingeteilt: Eisen-, Stein- oder Steineisenmeteorite. Steinmeteorite treten am häufigsten auf (93%), Eisenmeteorite haben einen Anteil von 6% und Stein-Eisenmeteorite einen Anteil von nur 1%. Man kann die Meteorite auch nach ihrer Herkunft bezeichnen: Mars- oder Mondmeteorite (das sind Körper, die bei einem Einschlag herausgeschleudert wurden und das Anziehungsfeld des Mars/Mondes verlassen konnten, anschließend können sie auf einem anderen Körper einschlagen).

Einschlagskrater kann man je nach Größe in 3 Gruppen einteilen: einfache Krater, komplexe Krater und Multiringbecken. Einfache Krater sind gekennzeichnet durch ein schüsselförmiges Aussehen, glatte Kraterränder und wenig Auswurfmaterial. Komplexe Krater haben eine Struktur im Kraterzentrum, das kann ein Zentralberg, ein Zentralring oder eine zentrale Gebirgslandschaft sein. Ihre Ränder sind zerstört, zur Kratermitte hin abgerutscht, abgestuft. Außerhalb des Kraters kann sich eine weitreichende Auswurfdecke (Ejektadecke) befinden. Multiringbecken sind sehr groß, haben mehrere Ringe und sind durch eine starke und ausgedehnte Zerstörung der Kruste gekennzeichnet.

Der Krater wird eigentlich nicht durch das Projektil erzeugt sondern durch die Explosion, welche bei Kontakt des Projektils mit der Oberfläche des Planeten/Mondes entsteht. Das Projektil hat eine sehr hohe Geschwindigkeit, bei der Erde z.B. tritt das Projektil mit 10-70 km/s in die Atmosphäre ein. Kleinere Objekte werden durch die Atmosphäre stark abgebremst und dabei teilweise zerstört. Große Meteorite treffen jedoch mit dieser hohen Geschwindigkeit auf. Man muss sich vorstellen, dass das Projektil dann auf einem Weg, der ungefähr der Tiefe des entstehenden Kraters entspricht abgebremst wird: Also ein extrem kurzer Bremsweg in Relation zu einer extrem hohen Aufschlaggeschwindigkeit. Durch die entstehende Reibungshitze kommt es zu einer Explosion, wobei der Boden nach oben und außen geschleudert wird. Enorme Drücke und Temperaturen entstehen im Einschlagszentrum (z.B. Rieskrater in Deutschland: 10 Mio. bar und 30000°C). Es bildet sich ein parabolischer vorübergehender Einschlagskrater. Die Explosion verursacht auch eine Schockwelle die sich zuerst durch das Projektil und dann durch das Gestein bewegt. Bei sehr großen Einschlägen wird das Gestein dabei „verflüssigt“, das ist auch der Grund warum sich die charakteristischen Ringe bilden. Das Projektil kann dabei teilweise oder völlig zerstört werden. Überreste des Projektils bleiben als Meteorit am Boden zurück und sind von Sammlern sehr begehrt. Am Boden des Kraters bildet sich Impaktschmelze (sie erstarrt zu Tektit). Die herausgeschleuderten Trümmer fallen zurück auf den Boden und bilden die Auswurfdecke. Wenn das Material sich gesetzt hat, rutscht Gestein vom Rand ins Kraterinnere ab und verringert so die Kratertiefe. Die Kruste ist nach dem Einschlag unterhalb des Kraters stark zertrümmert und hat viele Risse.

Tiefen-Durchmesser-Verhältnisse

Vorbereitung WSL:

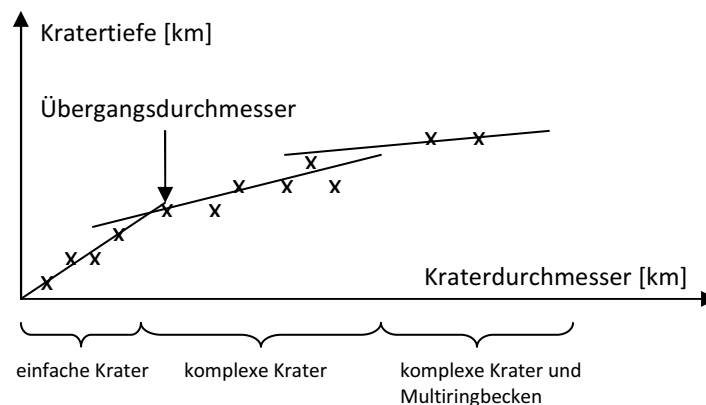
Für diese Übung benötigen Sie ein oder mehrere Höhenkarten von einer Planetenoberfläche (s. Webseitenempfehlungen). Achten Sie darauf, dass die Höhenkarten genügend einfache und komplexe Krater enthalten. Es werden Farbkopien von Karten mit Maßstab für jede Gruppe benötigt (A3 oder größer). Jeder Schüler benötigt ein Lineal, jede Gruppe benötigt einen Notizblock, Millimeterpapier und Stifte.

Übungen:

Datensatz erstellen – Bilden Sie Gruppen von 2-3 Schülern und verteilen Sie je eine Höhenkarte an jede Gruppe. Lassen Sie die Schüler nun die auf der Karte eingezeichneten Krater (nicht die ganz kleinen) mit dem Lineal vermessen, dabei muss der auf der Karte eingezeichnete Maßstab beachtet werden: z.B. 1cm entspricht 5 km. Die Durchmesser sollen in km notiert werden. Die Tiefen der Krater bestimmt man mithilfe des farbigen, auf der Karte angegebenen Höhenmaßstabs indem man die Differenz zwischen Umgebungshöhe und Kratertiefe bildet: z.B. $-2000\text{m} - (-3500\text{m}) = 1500\text{m} = 1,5\text{km}$. Die Tiefen sollen zu den Durchmessern ebenfalls in km notiert werden.

Diagramm erstellen – Lassen Sie die Schüler ihre gewonnenen Daten in Diagramme auftragen wobei die Durchmesser auf der x-Achse notiert werden und die Tiefen auf der y-Achse. Anschließend werden Geraden durch die Daten gelegt (Augenmaß). Es sollte sich zeigen, dass 2 bis 3 Geraden (mit unterschiedlichem Anstieg) notwendig sind um die Datenpunkte anzupassen. Die Kratergruppen werden im Tiefen-Durchmesser-Diagramm durch unterschiedliche lineare Funktionen repräsentiert.

Übergangsdurchmesser – Wenn Sie Höhenkarten verschiedener Planeten verwenden werden Sie evtl. feststellen, dass der Übergangsdurchmesser (vom einfachen zum komplexen Krater) bei den Datensätzen bei unterschiedlichen Durchmessern zu finden ist.



Merksätze:

Nach Einschlag des Projektils und Explosion bildet sich ein parabolischer, vorübergehender (transienter) Einschlagskrater, welcher durch eine Tiefe d_t und durch einen Durchmesser D_t gekennzeichnet ist. Ein einfacher Krater in seiner endgültigen Form entspricht ungefähr dem transienten Krater, sein schüsselförmiges Aussehen bleibt stabil. Ein komplexer Krater wird jedoch noch weiter deformiert, Material an den Kraterrändern rutscht ins Kraterinnere ab, dadurch verringert sich die Kratertiefe, da der Krater mit Material aufgefüllt wird. Der Kraterdurchmesser wird jedoch größer, der Rand verschiebt sich weiter nach außen.

Der Durchmesser ab dem Krater einen Zentralberg aufweisen, also komplex sind, ist bei den Planeten/Monden verschieden, da der Prozess der Bildung des Zentralbergs von g abhängt.

Je größer g , desto eher kann sich ein Zentralberg bilden, bei der Erde z.B. schon bei 2,25 km Kraterdurchmesser für Sedimentgesteine und bei 4,75 km für kristalline Gesteine, beim Mond dagegen erst ab ca. 11 km Kraterdurchmesser. Die Gravitationsanziehung des Ziels ist ein wesentlicher Faktor, doch die Form des Einschlagskraters hängt von vielen Faktoren ab: Dichte und Porosität des Untergrundmaterials, Krümmung der Oberfläche (Topografie, aber auch Größe des Planeten/Mondes), Masse, Geschwindigkeit und Einschlagswinkel des Projektils. Deswegen ist der Übergangsdurchmesser bei Merkur z.B. mit ca. 10 km größer als bei Mars mit ca. 6 km, obwohl beide fast gleiche Oberflächenbeschleunigungen haben. Der Übergangsdurchmesser für die Jupitermonde Europa, Ganymed und Callisto liegt bei ca. 2 km, obwohl sie viel kleinere Oberflächenbeschleunigungen haben als die Erde, da sie einen hohen Eisanteil haben.

Kraterexperimente

Vorbereitung WSL:

Materialien – große, flach Wanne oder ein flaches, breites Gefäß, z.B. ein Pappkarton, Zeitungspapier zum Auslegen, Mehl, Sand, Kakao, Kugeln verschiedener Größe und Masse, einen Stab 1-2m o.ä. zum Messen der Höhe, kleine Stäbe zum Messen der Kratertiefe, Sieb, Lineale.

Sand oder Mehl in die Schüssel füllen alles glatt streichen, darüber wird eine dünne Schicht Kakao gesiebt. Durch den Kakao ergibt sich ein Farbunterschied der Auswurfmaterialien zum Umgebungsmaterial, diese können dann leichter vermessen werden.

Zwecks der Höhe und Größe der Kugeln empfiehlt es sich, die Experimente vorher durchzuspielen, um geeignete Werte zu finden.

Experiment 1:

Lass die Kugeln aus 3 verschiedenen Höhen fallen (mit dem Stab abmessen) und notiere jeweils die Höhe, den Durchmesser des Kraters und die größte Entfernung der Auswurfmaterialien! Was verändert sich wenn man die Kugeln aus verschiedenen Höhen fallen lässt? E_{pot} wird größer, E_{pot} wird in E_{kin} umgewandelt, $E_{\text{kin}} \sim v^2$ also hat die Kugel aus der größeren Höhe eine größere Geschwindigkeit, je größer die Geschwindigkeit des Projektils, desto tiefer der Krater und desto weiter werden die Auswurfmaterialien hinaus geschleudert.

Experiment 2:

Lass verschieden große Kugeln (oder gleich große Kugeln verschiedener Masse) aus derselben Höhe fallen, notiere den Kugeldurchmesser (die Kugelmasse), den Durchmesser des Kraters und die größte Entfernung der Auswurfmaterialien. Was verändert sich? Warum ist bei einem großen Meteoriten die Durchschlagskraft größer? Kraft ist Masse mal Beschleunigung, also hat das Objekt mit der größten Masse auch die größte Durchschlagskraft. Je größer und schwerer das Projektil ist, desto tiefer der Krater und desto weiter reichen die Auswurfmaterialien.

Experiment 3:

Wie kann ein ellipsenförmiger Krater entstehen? Schüler selbst probieren lassen. Fast immer entsteht ein kreisförmiger Krater. Abhängig vom Einschlagswinkel kann ein Ellipsenförmiger Krater entstehen, dazu muss die Kugel in einem sehr flachen Winkel geworfen werden. Die Explosion beim Einschlag kann man simulieren indem man anstatt Kugeln einen Löffel voll Mehl als Projektil benutzt.

Merksätze:

In unseren Experimenten können wir keinen wirklichen Einschlag nachbauen, weil das Projektil beim Einschlag eine viel höhere Geschwindigkeit hat und eine gewaltige Explosion stattfindet. Typische Einschlagsgeschwindigkeiten auf der Erde sind 20 km/s für Asteroiden, 50 km/s für Kometen. Die Einschlagsgeschwindigkeit hängt von der Gravitation des Körpers ab, also von seiner Masse. Sie ist also für die Erde bei gleichem Projektil größer als für den Mond. Jupiter besitzt ca. 70% der Masse im Sonnensystem (die Sonne ausgenommen), er fängt aufgrund seiner großen Masse die meisten Projektile ab, bevor sie auf die Erde treffen können, er hat also eine Schutzfunktion. Wenn ein Projektil groß genug ist, kann es einen ganzen Mond oder Planet zerstören.

Sandstein unter Beschuss - Text lesen und Fragen beantworten

Vorbereitung WSL:

Fachartikel für jeden Schüler ausdrucken (s. Webseitenempfehlungen, letzter Eintrag).

Fragen:

Beschreibe kurz die vier verschiedenen methodischen Ansätze zum Verständnis eines Einschlags! Warum wurde für die Geländestudie der Impaktkrater Upheaval Dome in den USA gewählt? Was passierte mit dem Gestein beim Durchlauf der Stoßwelle? Warum sind Kraterexperimente so schwierig umzusetzen? Beschreibe den Ablauf eines Hochgeschwindigkeitsexperimentes. Was wird dafür benötigt? Wie werden die Ergebnisse der Experimente ausgewertet? Warum braucht man auch Computersimulationen um den Einschlagsprozess richtig zu verstehen? Wie nennt man diese speziell für die Impaktsimulation entwickelten Modelle? Welche Vorteile hat eine Kombination aller vorgestellten Ansätze?

Vorschläge für Exkursionen und Experimente

- Nachts Sternschnuppen zählen, besonders zu Zeiten von Meteorströmen (nicht in der Stadt oder in der Nähe starker Lampen)
- Kraterexperimente in groß im Sandkasten oder in der Sandgrube
- Museen besuchen, die Meteoritensammlungen besitzen
- Ausflug zum Ries-Krater in Deutschland (Schwäbische Alb/Fränkische Alb)

Diskussionspunkte

- Warum sieht man so wenige Einschlagskrater auf der Erde im Gegensatz zu anderen Planeten? Erosion, Plattentektonik
- Wie ist der Mond entstanden? Megaeinschlag, Teil der Erde herausgeschlagen, komplett geschmolzen, hat sich in der Umlaufbahn zum Mond zusammengeballt
- Gibt es Unterschiede zwischen dem Einschlag in Eis, Gestein, in einen Ozean? Felsiger Untergrund: Kraterdurchmesser 20x Durchmesser Projektil, sandiger Untergrund: Kraterdurchmesser 12x Durchmesser Projektil (bessere „Bremswirkung“, Schockwelle weniger effektiv als bei Fels, gesamte Explosion fällt schwächer aus)

Kontakt

Ich freue mich über Anmerkungen und beantworte gern Fragen:

stefanie.musiol@fu-berlin.de