

## Künstliche Einschlagskrater en miniature

In Bezug auf den Beitrag „Yarrabubba - der älteste irdische Einschlagskrater“ in der Zeitschrift »Sterne und Weltraum« 6/2020, Rubrik Nachrichten, S. 11, WIS-ID-Nummer 1421038, Zielgruppe: Mittelstufe bis Oberstufe

Joachim M. Wallasch

Einschlagskrater sind die direkt sichtbaren Strukturen energiereicher kosmischer Ereignisse, die einerseits notwendige Grundlage der Bildung der Objekte unseres Planetensystems waren (z. B. [Entstehung des Erdmonds](#)), die andererseits aber auch zur Zerstörung bereits existierender planetarer Objekte geführt haben und auch zukünftig für die Erde nicht grundsätzlich auszuschließen sind.

Einige spezielle Folgen der komplexen Prozesse, die bei Einschlägen kosmischer Objekte auf Planeten abgelaufen, können mit einfachen Experimenten mit Wachs simuliert werden, mit denen sich ansatzweise Verhältnisse auf jungen planetaren Körpern mit verflüssigtem Gestein im Inneren (Magma) und teilweise bereits erstarrten festen Oberflächen veranschaulichen lassen. Diese Experimente können als Vorbereitung oder als Ergänzung / Erweiterung der in Christian Wolfs Beitrag „Experimente mit Marskratern“ ([WIS-ID: 1421013](#)) beschriebenen Experimente eingesetzt werden.

Die Ergebnisse solcher Experimente können zu Vergleichen mit Ergebnissen alter und aktueller Raumfahrtmissionen dienen und Diskussionen über unterschiedliche Verhältnisse bei der Entstehung realer Krater auf den Objekten des Planetensystems anregen.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Kleinkörper	Formung von jungen Oberflächen fester Himmelskörper und auf <a href="#">Eismonden</a> , <a href="#">Strahlensysteme von Mondkratern</a> , <a href="#">Krater</a> , Kraterbildung, <a href="#">Impakt</a> , <a href="#">Zentralberg</a> , <a href="#">Eismonde</a> , <a href="#">Flüssiger Ozean</a> unter der Eiskruste, <a href="#">Pitholes auf Mars</a>
Physik	Wärmelehre	<a href="#">Schmelzen und Erstarren</a>
Fächer- verknüpfung	Astro-Geo	Oberflächenformung der Erde durch Impakte, <a href="#">Einschlagkrater auch auf Erde</a>
Lehre allgemein	Erkenntnis- gewinnungs- kompetenz	<a href="#">Kraterexperimente mit Wachs durchführen</a> , Analogieexperimente interpretieren, Analogien nutzen, Schülerexperiment

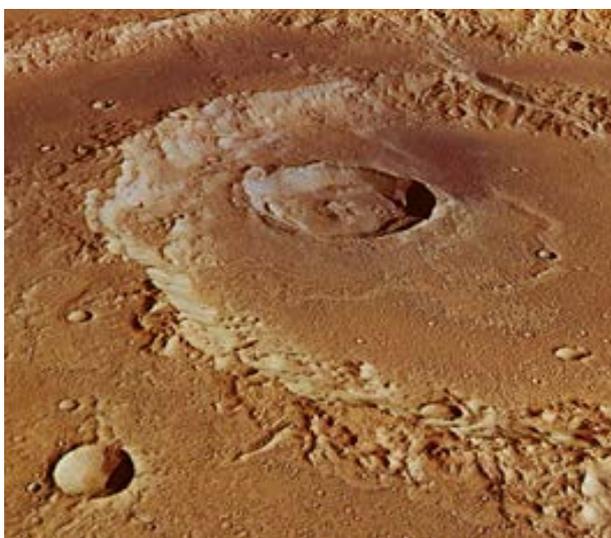


Abbildung 1: Links: Aufnahme der Raumsonde MARS EXPRESS eines jüngeren Einschlagkraters mit Fließstrukturen (Schlamm?) in einem älteren Einschlagkrater. ©: ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO. Rechts: Von Einschlägen kleiner Steine („Asteroiden“) in die Oberfläche einer noch nicht vollständig erstarrten aufgeschmolzenen Wachsschicht („Magmaozean“) erzeugte Strukturen. ©: J. Wallasch. Ein anderes Beispiel für einen Einschlagkrater mit Materialausflüssen ist auf der unter <https://www.spxdaily.com/images-hg/faults-and-scars-near-tharsis-province-on-mars-hg.jpg> jüngst veröffentlichter Aufnahme von MARS EXPRESS links unten zu sehen.

## Kraterbildung - Elementare Simulationen einfacher Effekte

Vater und Sohn Alvarez postulierten 1980 als Grund der Existenz erhöhter Iridiumkonzentrationen in einer speziellen weltweit auftretenden Gesteinsschicht den Einschlag eines Asteroiden, der als Ursache des Aussterbens fast aller Dinosaurier angesehen wurde. Der zu einem solchen Ereignis passende [Krater Chicxulub](#), der diesen Einschnitt in der Evolution des Lebens auf der Erde verursacht haben könnte, wurde 1990 in Yucatan entdeckt. Auch die Filmindustrie hat sich mehrfach dieses Themas angenommen („[Amargeddon](#)“, „[Deep Impact](#)“ u.a.) und damit die potentielle Bedrohung des Lebens auf der Erde durch kosmische Einschläge in das allgemeine Bewusstsein gehoben. Die Erfahrungen vieler Astronomielehrer/innen spricht dafür, dass auch heute immer noch bei Kindern und Jugendlichen die Stichworte „Astronomie“ und „Dinos“ mehrheitlich auf starke Resonanz treffen, und beim Thema „Einschlagkrater“ fallen diese beiden Aspekte zusammen. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass diesem Thema ein starkes didaktisches Potential innewohnt, das zu nutzen sich lohnt.

Mondkrater wie [Tycho](#) oder [Kopernikus](#) sind seit jeher „Stars“ jeder öffentlichen Sternbeobachtung. Die unmittelbare Sinneswahrnehmung bewirkt auch heute noch für jeden Beobachter einen starken emotionalen Eindruck, weil die menschliche Phantasie direkt mit dem Ergebnis eines Ereignisses von schier unvorstellbarer Gewalt konfrontiert wird. Seit Galilei mit seinen ersten kleinen Teleskopen erstmals die Mondoberfläche im Detail beobachten konnte, ist die Frage nach der Entstehung von Kratern und Maren ein zentrales Thema wissenschaftlicher Diskussionen und unterschiedlicher Theorien gewesen. Selbst bis in die Zeit der Apollo-Mondflüge hinein war die Frage nicht endgültig entschieden, ob Krater Ergebnisse entweder endogener vulkanischer oder exogener Prozesse sind. Nun ist heute klar, dass es nicht „entweder – oder“, sondern „sowohl – als auch“ heißen muss, was ein detailliertes Verständnis zwar komplizierter, aber damit auch interessanter macht.

[Einschlagskrater](#) auf Planeten, Planetenmonden, Asteroiden entstehen immer unter extremen, aber unter unterschiedlichsten physikalischen Bedingungen:

- unterschiedlich große Massen der einschlagenden Objekte von planetengroßen Körpern bis zu Staubteilchen,
- unterschiedliche stoffliche Zusammensetzung der einschlagenden Objekte: Silikate, Kohlenstoff, Metalle, Eis und jede denkbare Kombination dieser Grundsubstanzen,
- unterschiedliche Mischungsverhältnisse der Grundsubstanzen in den einschlagenden Objekten,
- unterschiedlich hohe Einschlagsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit auch von den durch die Massen der Zielkörper bedingten Gravitationskräfte,
- unterschiedliche Eigenschaften der Oberflächen der Zielkörper, u.a. in Abhängigkeit von ihrer Masse, ihrem Alter (Lava / Magma, festes Gestein, Eis, ...).

Naturereignisse wie ein Einschlag eines hinreichend massereichen Objekts übersteigen in den meisten Fällen alle energieumsetzenden Wirkungen natürlicher oder technisch realisierbarer Prozesse auf der Erde. Selbst mit hocheffizienten technischen Apparaturen ist es nur ansatzweise experimentell möglich, alle Auswirkungen solcher Vorgänge angemessen zu simulieren ([Peter Schultz](#), Brown University). Der Aussagewert der unter schulischen Randbedingungen geeigneten experimentellen Möglichkeiten muss daher von vornherein nur als sehr begrenzt eingeschätzt werden; dennoch scheint es sinnvoll, mit den hier vorgeschlagenen Mitteln Experimente durchzuführen, mit denen einige grundlegende Effekte demonstriert werden können und die mit der gebotenen Zurückhaltung auf reale Phänomene übertragbar sind, wie sie auf praktisch allen näher bekannten Körpern des Sonnensystems vorzufinden sind.

Unter Beachtung seiner einzigen [kritischen Eigenschaft](#), der Entzündungstemperatur von ca. 160° C, ist Wachs in besonderer Weise **für Schülerexperimente geeignet**, da diese Substanz sowohl in festem als auch flüssigem Zustand anwenderfreundlich untersucht werden kann. Auch alle weiteren Materialien sind in jeder Schule und praktisch in jedem Privathaushalt verfügbar.

## Benötigte Materialien

- Wachs (Kerzenreste, Teelichter)
- Glasgefäße (Marmeladen-, Konservenglas, Weißweinflaschen, ...)
- Topf (Wasserbad)
- Unterlage (Holzplatte, mehrere Lagen Zeitungspapier)
- Einschlagskörper siehe unten
- Röhre (Pappe, Kunststoff)
- Zollstock
- farbige Tinte
- Thermometer

Hinweis: Geeignete Objekte für Einschlagskörper sind Murmeln, Schraubenmutter, Schrauben ohne / mit Mutter, kleine Steine, Eisstückchen; diese können auch durch mehrfaches Eintauchen in flüssiges Wachs mit zusätzlichen Wachsmengen versehen werden, sodass sich relativ einfach unterschiedliche Situationen simulieren lassen (Komet als Konglomerat aus Staub und Eis, Metallasteroid, Asteroid vorwiegend aus Kohlenstoff, etc.).

## Generelle Vorgehensweise für die Experimentiervorschläge

- Ein teilweise mit einigen Tropfen Tinte angefärbtem Wasser und mit Wachs befülltes Glasgefäß wird in einen ausreichend großen, teilweise mit Wasser gefüllten Topf gestellt; im Wasserbad wird das Wasser-Wachs-Gemisch bei mittlerer Hitze erwärmt, bis das Wachs geschmolzen ist.
- Das Gefäß wird auf der festen Unterlage abgestellt.
- Ein Einschlagskörper fällt möglichst mittig auf die Wachsfläche.

### Vorversuch 1

Fülle ein Glas etwa zur Hälfte mit gefärbtem Wasser und schmelze der Reihe nach im Wasserbad ein, zwei, drei oder mehr Teelichter auf!

- Bestimme die zeitliche Temperaturentwicklung des erwärmten Wassers!
- Bestimme die Zeitspannen bis zum völligen Aufschmelzen der Wachsmengen! (Die Schmelztemperatur von Kerzenwachs liegt zwischen 50° C und 60° C.)
- Bestimme jeweils die Höhe der flüssigen Wachsschichten über dem erwärmten Wasser!
- Bestimme die Zeitspannen bis zum Beginn der Eintrübung der Wachsschicht, mit der die Erstarrung des Wachses einsetzt!

[zurück zum Anfang](#)

## Versuch 2: vollständig geschmolzene Wachskruste

Beobachte und beschreibe mit unterschiedlichen Gefäßen und unterschiedlichen Wachsmengen die Wirkung von Einschlägen unterschiedlicher Einschlagskörper!

- Fällt ein Einschlagskörper aus der Höhe  $h_E$  in vollständig verflüssigtes Wachs, so spritzt Material zur Seite und bleibt in der Höhe  $h_w$  an der Glaswand haften.
- Bei gleichzeitiger Verwendung mehrerer enger, hoher Flaschen (Weinflasche) sollte es möglich sein, über die qualitative Vermutung „Je größer  $h_E$ , desto größer  $h_w$ “ hinaus einen quantitativen Zusammenhang zwischen der Fallhöhe  $h_E$  und der Höhe  $h_w$  zu erkennen.

**Wissenschaftlicher Bezug:** Entstehung der [Strahlensysteme](#) von Mondkratern.

## Versuch 3: teilweise erstarrte Wachskruste

Über dem erwärmten Wasser existiert eine Schicht mit flüssigem Wachs, über dem sich bereits eine feste, aber noch hinreichend dünne Wachsschicht ausgebildet hat. Die zu beobachtenden Phänomene hängen entscheidend von der Dicke und der Festigkeit (Temperatur) der schon erstarrten Wachskruste sowie von der Aufschlagswucht und der Konsistenz der Probekörper ab.

- Im Zentrum des Einschlagspunkts entsteht eine Vertiefung (Krater) mit neuem noch flüssigem Material (Lava) und um den Einschlagspunkt herum entstehen sowohl Aufwölbungen als auch Ablagerung ausgeworfenen Materials.
- ein zylindrischer Körper (Radius  $r$ , Länge  $l$ , Volumen  $V$ ) fällt senkrecht auf die feste Oberfläche, durchschlägt sie vollständig, erzeugt dabei eine Röhre mit kreisförmigem Querschnitt Loch (Radius  $r$ ) und sinkt im warmen Wasser unzerstört auf den festen Boden hinab.

Theorie: bei hinreichend großer Geschwindigkeit und ausreichend starrer Kruste stantzt der Einschlagskörper eine röhrenförmige Öffnung in die Oberfläche; die vom Einschlagsobjekt und dem mitgerissenen Wachspfropfen verdrängte Wassermenge verdrängt dann ihrerseits das gleiche Volumen an leichterem flüssigem Wachs, das durch das beim Einschlag ausgestanzte Loch aufsteigen muss, sich rasch kreisförmig um das Loch herum auf der festen Oberfläche ausbreitet und dann verfestigt.

**Wissenschaftlicher Bezug:** [Eismonde](#), Flüssiger Ozean unter der Eiskruste

**Wissenschaftlicher Bezug:** Krater, [Zentralberge](#)

## Versuch 4: vollständig erstarrte Wachsschicht

- Ein beliebig geformter Körper fällt senkrecht auf die feste Oberfläche, stantzt eine röhrenförmige Öffnung in die Kruste, wird durch den Aufschlag teilweise oder vollständig zerstört, durchschlägt die Kruste nicht vollständig.

**Wissenschaftlicher Bezug:** [Pitholes](#): Seit ihrer unerwarteten Entdeckung auf der Grundlage von Photos, die von den amerikanischen Raumsonden [Mars Odyssey](#) und [Mars Reconnaissance Orbiter](#) aufgenommen worden waren, sind **pitholes** ein zentrales Thema in den Diskussionen um zukünftige bemannte Landungen auf dem erdähnlichsten Planeten des Sonnensystems. Ihre Entstehung ist noch immer Gegenstand unterschiedlicher wissenschaftlicher Erklärungsmodelle: pitholes könnten auch durch den Einsturz der Oberflächenkruste über einem durch unterirdisch abfließende Lava entstandenen Hohlraum sein.

## Versuch 5: auf Backblechen

Alle beschriebenen Versuche lassen sich in größerem Maßstab mit Hilfe von Backblechen durchführen (Abb. 2).



Abbildung 2: Links: Oberflächenstrukturen nach drei Einschlägen unterschiedlich großer Steine. Rechts: nach vier weiteren Einschlägen kleinerer Objekte; die beiden Aufwölbungen am unteren Bildrand zeigen zeitliche Veränderungen. ©: J. Wallasch.

Die Effekte sind deutlicher zu erkennen als in kleineren Glasgefäßen. Allerdings ist es nicht möglich, das Wachs in einem Wasserbad zu schmelzen. Die Schale muss auf Holzkohle gesetzt werden. Wenn das Wachs vollständig aufgeschmolzen ist, muss das Backblech vorsichtig auf eine geeignete Plattform aus vier alten Pflastersteinen versetzt werden. Es muss darauf geachtet werden, dass keine Holzkohlen-teile in das Wachs fallen können.

## Hinweise

Christian [Wolffs](#) „Experimente mit Marskratern“, WIS-ID: 1421013, <http://www.wissenschaft-schulen.de/alias/material/zentrales-wis-dokument-msos-11-2013/1211250>

Weitere WIS-Materialien zur Astronomie und allen ihren Bezügen finden Sie unter der Adresse [www.wissenschaft-schulen.de](http://www.wissenschaft-schulen.de) (Fachgebiet Astronomie).

Wir würden uns freuen, wenn Sie zum vorliegenden Beitrag Hinweise, Kritiken und Bewertungen an die Kontaktadresse [dr.wallasch@gmx.de](mailto:dr.wallasch@gmx.de) des Autors senden könnten.