

# Erforschung der Mondkrater

## Kurze Beschreibung

In dieser Reihe von Aktivitäten werden die Schüler\*innen die Krater auf der Erde und dem Mond erforschen. Sie werden in einer Simulation Krater auf dem Mond und der Erde erstellen und vergleichen. Abschließend werden die Schüler\*innen einen fiktiven Zeitungsartikel kritisch untersuchen und prüfen, ob es sich um Fake News handeln könnte.

## KURZE INFOS

**Schulfach:** Physik

**Altersgruppe:** 13-15 Jahre

**Art der Aufgaben:** Rechenaufgaben, Zeichenaufgabe und Experiment

**Schwierigkeitsgrad:** Einfach bis mittel

**Benötigte Zeit:** ca. 2-3h insgesamt

**Kosten:** mittel

**Ort:** Klassenzimmer, Computerraum

**Man benötigt:** Smartphone oder Tablet oder Computer zur Nutzung der App „Down2Earth Impact Calculator“, evtl. Taschenrechner

**Stichwörter:** Physik, Schwerkraft, wissenschaftlicher Methoden, physikalischer Größen, Analysieren und Interpretieren von Daten, Experimentieren

## Lernziele

Die Schüler\*innen lernen,

- Asteroideneinschläge und Krater systematisch zu vergleichen.
- die Eigenschaften von Kratern im Detail zu untersuchen.
- Bilder der Mond- und Erdoberfläche zu analysieren.
- wie man Schritt für Schritt ein wissenschaftliches Problem in einem Forschungsszenario eines Asteroideneinschlags auf der Erde angeht.
- wissenschaftliche Diagramme zu zeichnen.
- Beobachtungen zu analysieren und Messungen zu interpretieren.

## Zusammenfassung der Aktivitäten

Aktivität	Titel	Beschreibung	Ergebnis	Curriculum	Voraussetzungen	Zeit
1	Wie entstehen Krater auf dem Mond?	Die Schüler*innen legen Krater auf einer künstlichen Mondoberfläche an. Anhand echter Bilder der Mondoberfläche können sie die Geschichte der Einschläge untersuchen.	Die Schüler*innen erkennen, dass die Bedingungen des Einschlags die Form des entstandenen Kraters bestimmen.	Schwerkraft, Mond, Vorhersagen treffen, Analyse und Bewertung, Verständnis der wissenschaftlichen Methode, Muster erkennen	Smartphone für die App „Down2Earth Impact Calculator“	Ca. 60 min
2	Unterschied zwischen Erde und Mond	Die Schüler*innen sollen über die verschiedenen Eigenschaften und Ursachen der Krater auf der Erde und auf dem Mond nachdenken	Auf der Erde findet man durch Plattentektonik, Wetter, etc. nicht so viele Krater wie auf dem Mond	Schwerkraft, Mond, Erde, Krater, Analyse und Bewertung von Ursachen	Keine	Ca. 15 min
3	Fake News?	Ausgehend von einem Szenario eines Asteroideneinschlags auf der Erde werden die Schüler systematisch die physikalischen Parameter des Einschlags und die daraus resultierenden Folgen für die Menschheit und die Erde untersuchen.	Die Schüler*innen erforschen die Folgen eines Asteroideneinschlags auf der Erde und enthüllen „Fake News“.	Schwerkraft, Entwicklung der Erde, Beschaffung von Erkundungsdaten, Analyse und Bewertung, Verständnis der wissenschaftlichen Methode	Down2Earth Impact Calculator	Ca. 90 min

## Einführung

Der Down2Earth Impact Calculator ist ein Online-Tool, mit dem Nutzer die Auswirkungen verschiedener Arten von Einschlägen auf die Erde erforschen und visualisieren können. Er ist unter folgendem Link zu finden: [http://education.down2earth.eu/impact\\_calculator](http://education.down2earth.eu/impact_calculator)

Um den Einschlagrechner zu verwenden, muss der Benutzer fünf verschiedene Einschlagparameter eingeben, woraufhin der Einschlag "eingereicht" werden kann. Der Benutzer kann auf die Karte klicken, um den Meteor abzufeuern, und dann das Ausmaß der Zerstörung am gewählten Zielort über die Registerkarten "Kratertiefe" und "Datenansicht" am unteren Rand des Bildschirms bewerten. Der Impaktrechner gibt auch eine Schätzung darüber ab, wie oft ein solcher Impaktor auf der Erde einschlagen wird!

In dieser Reihe von Aktivitäten werden die SchülerInnen frühere Asteroidenkollisionen in unserem Sonnensystem untersuchen und diese Ereignisse auf dem Mond und der Erde mit Hilfe des Down2Earth Impact Calculators nachstellen. Es gibt zwei verschiedene Arbeitsblätter für SchülerInnen, wobei das Zweite auf dem Ersten basiert und die Antworten zu jeder Aktivität in den Dokumenten für Lehrer\*innen enthalten sind. Die Ressource wird von einem separaten Dokument mit Hintergrundinformationen begleitet. Die Schüler\*innen sollten dieses Dokument lesen, bevor sie die Aktivitäten durchführen. Dem ersten Arbeitsblatt ist ein Leitfaden beigegefügt, der Anleitungen zur Verwendung des Wirkungsrechners enthält.

Für jede Aktivität:

1. Die Schüler\*innen befolgen mehrere Schritte, um mit dem Down2Earth Impact Calculator Ergebnisse zu erhalten.
2. Gegebenenfalls erstellen die Schüler\*innen ein Diagramm ihrer Ergebnisse oder schreiben ihre Beobachtungen auf.
3. Die Schüler\*innen analysieren und interpretieren ihre Ergebnisse.
4. Die Schüler\*innen ziehen Schlussfolgerungen.

Vielleicht möchten Sie die Aktivität vor der Durchführung selbst ausprobieren, damit Sie wissen, worauf die Schüler achten sollten.

Durch diese Aktivitäten erwerben die Schüler\*innen Wissen und Verständnis über einige der Faktoren, die bei Einschlagskratern eine Rolle spielen, und üben die Interpretation von Beweisen aus ihren Untersuchungen, um unterstützende Erklärungen zu formulieren.

Die Schüler\*innen sind in der Lage, wissenschaftliche Konzepte auf ihre Ergebnisse anzuwenden. Die Aktivitäten ermöglichen die Entwicklung vieler praktischer Fähigkeiten, einschließlich der Planung und Durchführung von Experimenten, der Sammlung von Daten, der Erstellung von Diagrammen, der

Interpretation ihrer Daten und der Anwendung von Anpassungslinien/Trendlinien und entsprechenden Gleichungen, die die Beziehungen in ihren Ergebnissen beschreiben.

## Aufgabe 1: Wie entstehen Krater auf dem Mond?

Wie können wir Krater nachbilden, die sich bereits auf anderen Planeten und Himmelskörpern gebildet haben?

In dieser Übung betrachten die Schüler\*innen mehrere Einschlagskrater auf dem Mond. Anschließend untersuchen und bestimmen sie die notwendigen Parameter für die Objekte, die die auf der Mondoberfläche sichtbaren Krater verursacht haben. Die Schüler\*innen verwenden den Down2Earth Impact Calculator, um Asteroiden zu entwerfen, die diese Krater aus echten früheren Ereignissen auf dem Mond hervorgebracht haben.

Die Schüler\*innen notieren ihre Ergebnisse während der gesamten Aktivität, die sie in einer abschließenden Betrachtung diskutieren können. Wissenschaftliche Konzepte wie kinetische Energie, Arbeit und Impuls können auf die Ergebnisse angewendet werden.

### Materialien

- Smartphone oder Tablet oder Computer zur Nutzung der App „Down2Earth Impact Calculator“
- evtl. Taschenrechner
- Stift

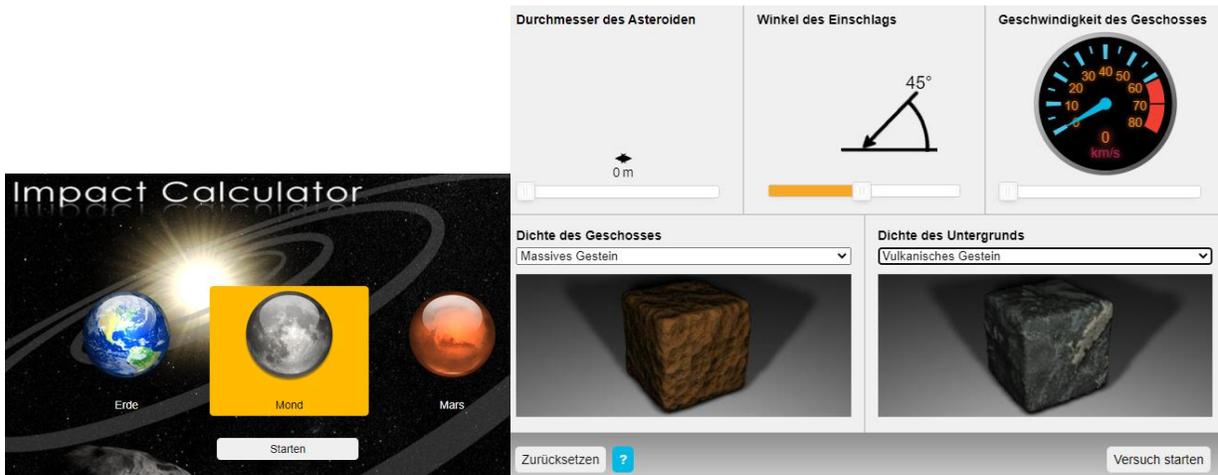
### Aufgabe

Die erste Aufgabe (Schritt 1) ist nur eine kurze Einführung in den Down2Earth Impact Calculator. Die Schüler\*innen sollten zuerst die "Hintergrundinformationen" für diese Aktivität lesen. Dies wird auf dem Übungsblatt für die Schüler\*innen nicht erwähnt, da sie die Notwendigkeit von Hintergrundinformationen selbst erkennen sollten (wie echte Wissenschaftler\*innen in der tatsächlichen Forschung).

Es ist auch möglich, die Aktivität mit einer Gruppendiskussion über Asteroiden, Kometen und Einschläge auf Erde und Mond zu beginnen. Die Schüler\*innen können ihr Wissen zu diesem Thema zusammentragen.

**Schritt 1:** Öffnet die Website: [http://down2earth.eu/impact\\_calculator/planet.html?lang=de](http://down2earth.eu/impact_calculator/planet.html?lang=de). Folgt dem Link oder sucht bei Google nach "Down2earth Impact Calculator". Oder nutzt die App auf einem Smartphone oder Tablet. Die Sprache der Webseite könnt ihr oben rechts auf „Deutsch“ einstellen.

Die Verwendung des Down2Earth Impact Calculators ist einfach und selbsterklärend. Wenn gewünscht, kann man den Rechner in einer größeren Gruppe testen (z.B. mit einem Beamer), aber die Schüler\*innen sollten selbst einen Einschlagskrater erstellen. Die Schüler\*innen können ihr Wissen zu diesem Thema zusammentragen.



*Bild 5 und 6: Impact Calculator*

Ihr könnt Erde, Mond oder Mars wählen, um einen Asteroideneinschlag zu simulieren. Da wir Einschläge auf unseren Erdnachbarn simulieren wollen, wählt bitte für diese Übung den Mond und klickt auf "Starten".

Im nächsten Schritt passt ihr die Aufprallparameter an:

- Durchmesser des Asteroiden: Die Größe des Asteroiden oder Kometen, der auf der Mondoberfläche einschlagen soll.
- Winkel des Einschlags: Der Winkel, in dem der Asteroid auf die Oberfläche trifft.
- Geschwindigkeit des Geschosses: Die Geschwindigkeit des Impaktors/Einschlagobjekts.
- Dichte des Geschosses und Dichte des Untergrunds: Wählt, aus welchem Material Ihr Asteroid oder Komet bestehen soll (poröses Gestein, massives Gestein, Eis oder Eisen). Für die Mondoberfläche steht nur vulkanisches Gestein zur Verfügung.

Es ist bemerkenswert, dass bei großen Geschwindigkeiten die Unterschiede im Durchmesser des Asteroids, in der Dichte und im Winkel sowie in die Dichte des Untergrunds immer irrelevanter werden, so dass es für die Schüler\*innen schwierig ist, Unterschiede in ihren Simulationen zu erkennen. Daher werden in allen Übungen dieser Aktivität sowie in Aktivität 2 niedrigere Geschwindigkeiten verwendet. Wenn Sie diese Übung erweitern möchten, können Sie Ihre Schüler\*innen bitten, den Geschwindigkeitsparameter auf das Maximum zu setzen und nach Unterschieden zu suchen, wenn Sie verschiedene Geschossdichten verwenden.

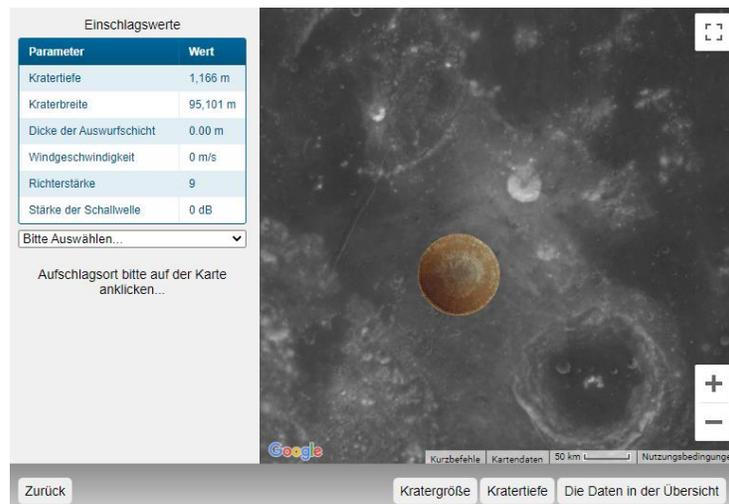


Bild 7: Impact Calculator

Schließlich wählt ihr den Einschlagspunkt aus. Klickt auf die Karte und der Krater wird angezeigt oder wählt den Einschlagspunkt im Dropdown-Menü links. Die Einschlagswerte wie Kratertiefe oder -breite sind auf der linken Seite aufgeführt.

Für die Informationen auf den Registerkarten "Kratergröße", "Kratertiefe" und "Datenansicht" muss man keinen bestimmten Einschlagsort auswählen.

**Schritt 2:** Versucht anhand dieser Informationen und der in Tabelle 2 angegebenen Zahlen, eigene Einschläge zu konstruieren, die zu Kratern führen, deren Breite den vier Kratern auf dem Mond entspricht. Tragt eure Ergebnisse in Tabelle ein.

Es gibt mehrere Variationen von Parametern, die zu Kratern der angegebenen Größe führen. Die grau dargestellten Werte stellen einige Beispiele dar.

Wenn Sie möchten, dass die Schüler nur die Änderung eines Parameters untersuchen, können Sie ihnen entweder den Flugbahnwinkel oder die Geschwindigkeit vorgeben.

Einschlagkrater auf dem Mond				
Kraterdurchmesser	Dichte des Geschosses	Durchmesser des Asteroiden (m)	Winkel des Einschlags (Grad)	Geschwindigkeit des Geschosses (km/s)
Bailly (303 km)	Eisen	7000	60	(52)
Tycho (86 km)	(massives Gestein)	(4200)	(49)	27
Kepler (27 km)	Poröses Gestein	(3000)	40	(12)

West (Apollo 11 Landeort) (100 meter)	(Eis)	100	5	(1)
---	-------	-----	---	-----

**Schritt 3:** Wir wollen die Form, Größe und Verteilung von Kratern auf dem Mond systematisch untersuchen. Deshalb variieren wir unsere Einschlagparameter systematisch. Überlegt, wie die Einschlagparameter gewählt werden sollen, um die folgenden Fragen zu beantworten:

- a) Gibt es einen Unterschied in der Form der Krater, wenn der Einschlagswinkel variiert?

Nein, alle Krater sind rundlich. In dem Moment, in dem ein Asteroid die Oberfläche eines Planeten berührt, wird die enorme kinetische Energie des Asteroiden explosionsartig freigesetzt. Die Energie wird sehr abrupt an einem einzigen Punkt in der Planetenkruste freigesetzt. Diese plötzliche, konzentrierte Freisetzung ähnelt mehr als alles andere der Detonation einer extrem starken Bombe. Wie bei einer Bombenexplosion ist die Form des entstehenden Kraters rund: Die Auswurfstücke werden in alle Richtungen geschleudert, unabhängig davon, aus welcher Richtung die Bombe gekommen sein mag. Dieses Verhalten mag im Widerspruch zu unserer alltäglichen Erfahrung stehen, wenn wir Steine in einen Sandkasten oder in den Schlamm werfen, da in diesen Fällen die Form und Größe des "Kraters" von den physikalischen Abmessungen des starren Impaktors bestimmt wird. Bei astronomischen Einschlägen hingegen sind die physische Form und die Richtung des Meteoriten im Vergleich zu der enormen kinetischen Energie, die er mit sich führt, unbedeutend.

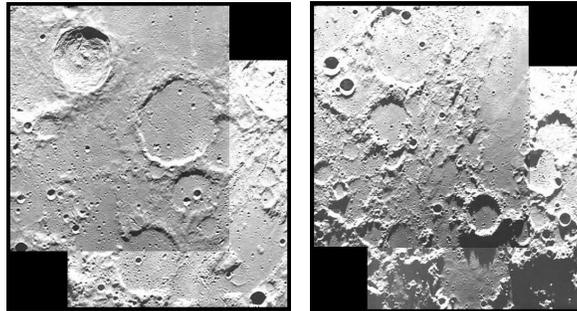
- b) Gibt es einen Unterschied in der Größe der Krater, wenn sich die Geschwindigkeit des Geschosses ändert?

Ja, ein schnellerer Einschlag bedeutet einen größeren Krater. Wie in Frage a) ist der Einschlag eines Asteroiden oder Kometen mit einer Explosion vergleichbar. Je schneller der Impaktor ist, desto mehr kinetische Energie wird freigesetzt. Daher wird die Explosion immer größer, wenn mehr Energie zugeführt wird, was zu einem größeren Krater führt.

- c) Wie verändert sich die Tiefe der Krater bei Verwendung unterschiedlicher Geschossdichten?

Ein dichteres Projektil bedeutet einen tieferen Krater. Die so genannte Einschlagtiefe ist proportional zur Größe des Projektils und dem Verhältnis der Dichte des Projektils zur Dichte der Mondoberfläche. Geht man von gleich großen Impaktoren unterschiedlicher Zusammensetzung aus, so werden dichtere Objekte (wie Eisen-Asteroiden) tiefere Krater erzeugen als poröse Objekte wie Eis-Asteroiden.

## Aufgabe 2: Unterschied zwischen Erde und Mond



*Bild 8: Der ESA SMART-1 Satellit hat Fotos von den Gebieten um die Mondkrater aufgenommen. Die großen Krater haben Durchmesser von bis zu 80 km.*

### Schritt 1: Erste Eindrücke

Schreibt auf, was ihr auf den Fotos von dem Mond erkennen könnt:

Es gibt viele verschiedene Größen von Kratern, aber viel mehr kleine Krater als große Krater. Die meisten Krater sind kreisförmig. Die Verteilung der Krater scheint zufällig zu sein. Es gibt verschiedene Formen und Typen von Kratern. Kleinere Krater sind einfache Schalen, größere haben flache Böden; einige, wie z. B. Carpenter in Abbildung 1, haben zentrale Erhebungen. Einige Krater sind besser geformt und ausgeprägter als andere.

### Schritt 2: Schaut noch mal genauer!

Was könnt ihr auf den Fotos der Mondoberfläche sehen?



*Bild 9: Auf der Mondoberfläche gibt es viele Krater.*

Im Allgemeinen überlagern die kleineren Krater die größeren Krater. Einige größere Krater sehen so aus, als seien sie stark von kleineren Kratern beeinflusst worden. Daher müssen diese großen Krater älter sein als die kleineren Krater, die über ihnen liegen. Dies lässt darauf schließen, dass größere Krater im Allgemeinen älter sind als kleinere Krater, was wiederum bedeutet, dass die Größe der Einschläge im

Laufe der Zeit abgenommen hat. Dies ist auf die größeren Asteroiden zurückzuführen, die im frühen Sonnensystem existierten, bevor sie zu Planeten akkretiert wurden (spätes schweres Bombardement).

### Schritt 3: Vergleich mit den Kratern auf der Erde

Guckt euch die Fotos von der Erde an (Bild 3). Könnt ihr einen Einschlagkrater erkennen?  
Welche Unterschiede könnt ihr im Vergleich zum Mond entdecken?



*Bild 10: Der Manicouagan-Einschlagkrater in Canada ist schon 210 Millionen Jahre alt. Das Foto wurde von dem ESA-Astronauten Tim Peake von der ISS aus aufgenommen.*

Was kann die Krater auf der Erde **stark** beeinflussen? Tauscht euch mit euren Mitschülern und Mitschülerinnen aus.

- Regen
- Atmosphäre der Erde
- Raumschiffe
- Erosion
- Wetter
- Aliens
- Tiere
- Pflanzen
- die Sonne
- Bewegung der  
Kontinentalplatten
- Menschen
- Wechselwirkung mit  
anderen Planeten

Jetzt habt ihr schon viel über die Krater von Erde und Mond gesprochen. Was denkt ihr, warum finden wir nicht so viele Krater auf der Erde wie auf dem Mond?

Der wichtigste Grund ist natürlich die geologische Aktivität der Erde. Durch Erosion (das Wichtigste!), Plattentektonik, die Vegetation und das Wetter werden alte Krater mit der Zeit geglättet. Da die meisten Krater auf unserer Erde während des späten schweren Bombardements vor etwa 3,95 Milliarden Jahren entstanden sind, können wir sie heute nicht mehr sehen. Außerdem hat die Erde eine Atmosphäre. Daher sollten kleinere Asteroiden oder Kometen in der Atmosphäre explodieren und keine Krater auf der Oberfläche hinterlassen. Außerdem sind zwei Drittel der Erdoberfläche von Wasser bedeckt, so dass wir in den Ozeanen keine Krater sehen können.

**Schritt 5:** Falls gewünscht, können die Ergebnisse im Plenum oder in einer kleinen Gruppe diskutiert werden.

Hinweis: Nachdem die Schüler\*innen die Übung durchgeführt und ihre Arbeitsblätter ausgefüllt haben, können Sie einige der früheren Kollisionen im Sonnensystem besprechen und darüber sprechen, warum wir die Krater untersuchen, die sie hinterlassen.

Die SchülerInnen können darüber diskutieren, ob sie von anderen Kollisionen und Kratern im Sonnensystem wissen und warum sie es für wichtig halten, Krater zu untersuchen.

Der untenstehende Link zeigt ein Video über frühere ESA-Missionen ins Sonnensystem und erklärt, warum es wichtig ist, Kometen und andere Himmelskörper zu untersuchen.

[http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/1998/06/Europe\\_Does\\_It\\_Well](http://www.esa.int/spaceinvideos/Videos/1998/06/Europe_Does_It_Well)

## Aufgabe 3: Fake News?

Ihr erhaltet folgende Nachricht:



### **Eilmeldung:**

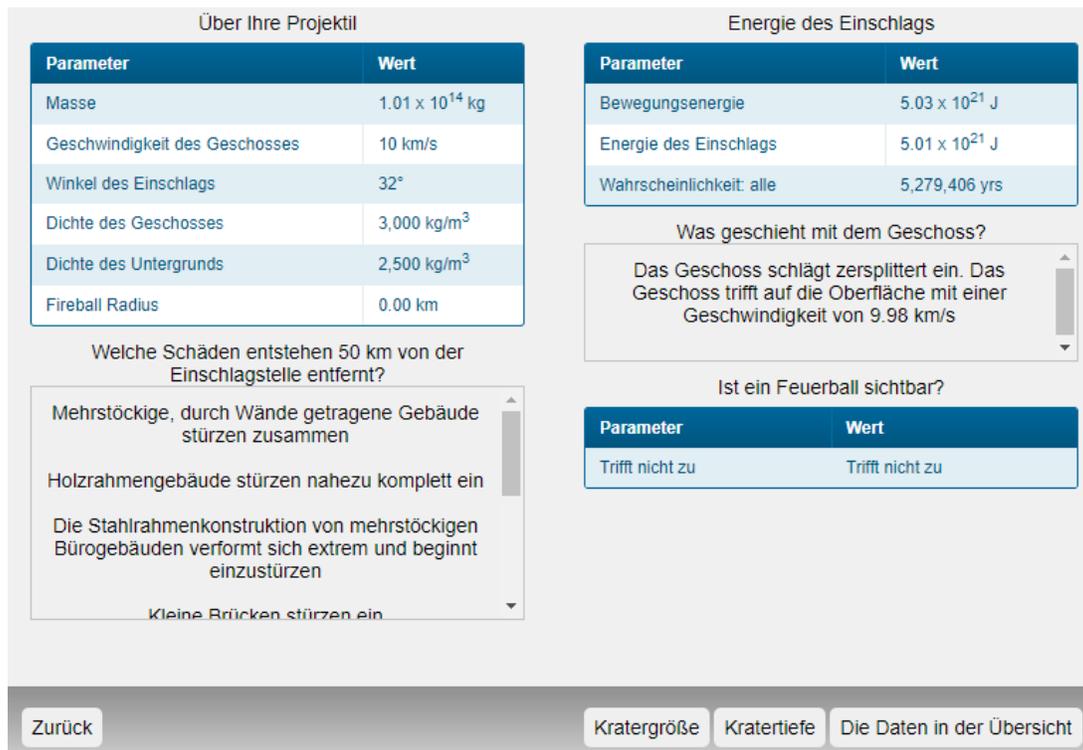
Asteroid-Warnung: ESA verfolgt Annäherung eines 4 km großen Asteroiden - ein Einschlag könnte das Ende der Zivilisation bedeuten!

Wenn der Artikel wahr ist, könnte es das Ende der Welt sein, wie wir sie kennen. Aber in Zeiten von Social Media und anderen Online-Plattformen sind Fake News überall zu finden. Um den Wahrheitsgehalt des Artikels zu ermitteln, müssen wir zunächst die Beziehung zwischen Asteroiden, ihren Einschlägen und den daraus resultierenden Folgen verstehen.

**Schritt 1:** Schließlich wollen wir herausfinden, welchen Schaden der erwähnte Asteroid anrichten wird. Dazu verwenden wir den Down2Earth Impact Calculator. Simuliert den Einschlag eines 4 Kilometer großen Asteroiden mit einem Flugbahnwinkel von 32 Grad und einer Geschwindigkeit von 10 km/s in Paris (Sedimentgestein). Wir kennen die Zusammensetzung des Asteroids nicht, aber wir nehmen mal an, dass es sich um poröses Gestein handelt.

Natürlich wählt ihr dieses Mal die Erde statt des Mondes. Für die Erde könnt ihr auch die Entfernung von euch zum Einschlagsort wählen. Setzt diese Variable auf zunächst 50 km. Dadurch könnt ihr erfahren, was die Auswirkungen auf Gebäude und die Natur in 50 km Entfernung zum Einschlagsort sind.

Klickt auf "Absenden" und platziert den Krater in Paris, indem ihr entweder in der Karte nach Paris sucht oder es im Menü auf der linken Seite auswählt. Ihr könnt dann auf "Die Daten in der Übersicht" klicken und einige physikalische Parameter des Asteroids und des Einschlags sehen. In der Box auf der linken Seite ist der vorberechnete Schaden in der gewählten Entfernung zum Einschlagsort aufgelistet.



The screenshot shows the 'Über Ihre Projektil' (About your projectile) and 'Energie des Einschlags' (Impact energy) sections of the calculator. The projectile parameters table is as follows:

Parameter	Wert
Masse	1.01 x 10 <sup>14</sup> kg
Geschwindigkeit des Geschosses	10 km/s
Winkel des Einschlags	32°
Dichte des Geschosses	3.000 kg/m <sup>3</sup>
Dichte des Untergrunds	2.500 kg/m <sup>3</sup>
Fireball Radius	0.00 km

The impact energy section shows:

Parameter	Wert
Bewegungsenergie	5.03 x 10 <sup>21</sup> J
Energie des Einschlags	5.01 x 10 <sup>21</sup> J
Wahrscheinlichkeit: alle	5,279,406 yrs

Below the energy section, a text box states: 'Das Geschoss schlägt zersplittert ein. Das Geschoss trifft auf die Oberfläche mit einer Geschwindigkeit von 9.98 km/s'. A question 'Ist ein Feuerball sichtbar?' (Is a fireball visible?) is answered with 'Trifft nicht zu' (Does not occur).

The damage prediction section, titled 'Welche Schäden entstehen 50 km von der Einschlagstelle entfernt?' (What damage occurs 50 km from the impact site?), lists several effects:

- Mehrstöckige, durch Wände getragene Gebäude stürzen zusammen
- Holzrahmengebäude stürzen nahezu komplett ein
- Die Stahlrahmenkonstruktion von mehrstöckigen Bürogebäuden verformt sich extrem und beginnt einzustürzen
- Kleine Brücken stürzen ein

At the bottom of the interface, there are buttons for 'Zurück', 'Kratergröße', 'Kratertiefe', and 'Die Daten in der Übersicht'.

Bild 11: Impact Calculator

- a) Recherchiert systematisch die Schäden in verschiedenen Entfernungen zum Einschlagsort (Paris). Dazu müsst ihr nun die Entfernung zum Einschlagsort verändern. Notiert in der folgenden Tabelle, ob die aufgeführten Objekte einstürzen oder beschädigt werden.

		
komplett zerstört	leicht beschädigt	unbeschädigt

Festgestellte Schäden in Abhängigkeit von der Entfernung zum Aufprallort					
Distanz	Große Gebäude mit tragenden Wänden und Stahlskelettkonstruktion	Gebäude aus Holz	Infrastruktur (z. B. Brücken)	Beschädigung von Autos, Fenstern usw.	Schäden an der Natur
0 km					
100 km					
200 km					
350 km			 		
500 km					

b) Wie weit sollten die Menschen von der Einschlagstelle entfernt evakuiert werden? Begründet eure Entscheidung!

Menschen sollten sich nicht in 500 km Entfernung zu dem Aufprallort befinden, sie sollten evakuiert werden. Aus den Informationen kann man eventuell überlegen, ob Menschen ab 350 km in geschützten Gebäuden (ohne Fenster), beispielsweise in Bunkern, Schutz suchen können, weil Stahlgebäude ab diesen Entfernungen nicht mehr stark beschädigt werden oder einstürzen.

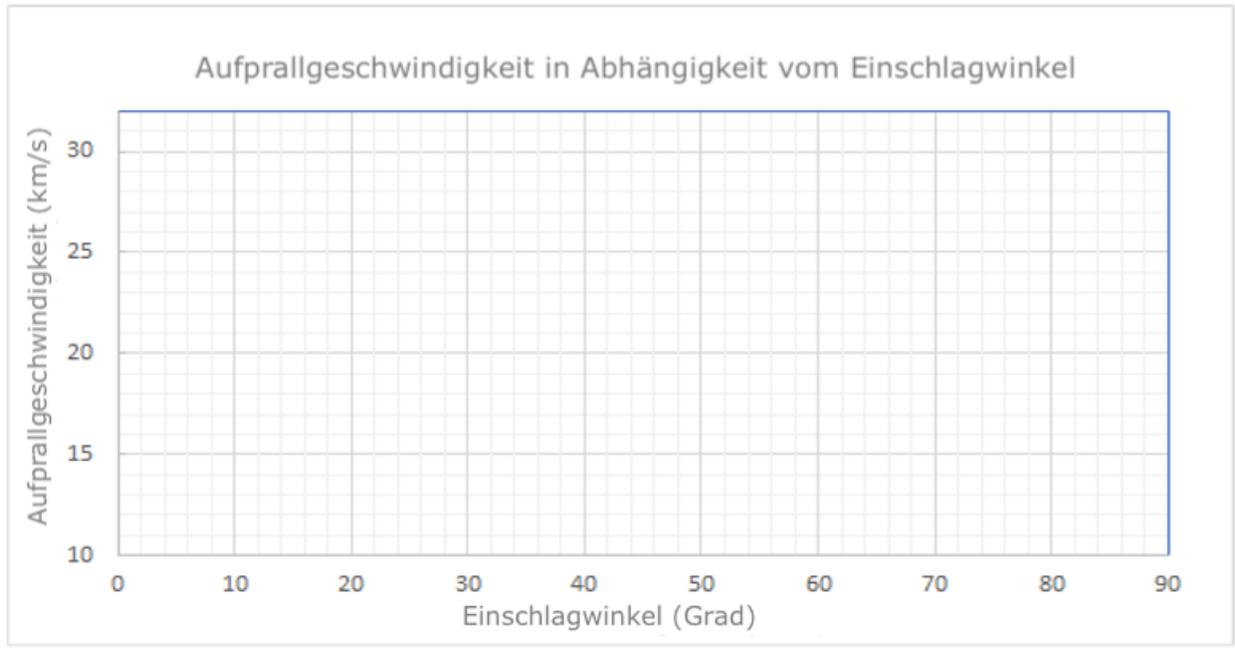
**Schritt 3:** Da die Schäden an Gebäuden kein genaues Maß für einen Asteroideneinschlag sind, verwendet die physikalischen Parameter Einschlaggeschwindigkeit, Einschlagenergie sowie Kratergröße und -tiefe,

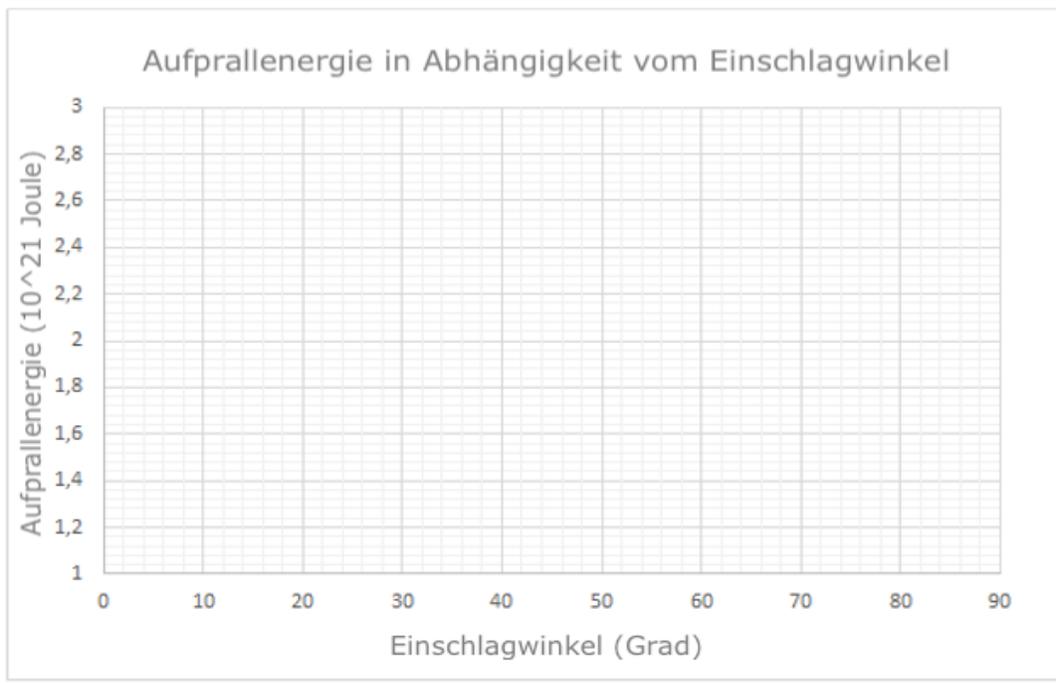
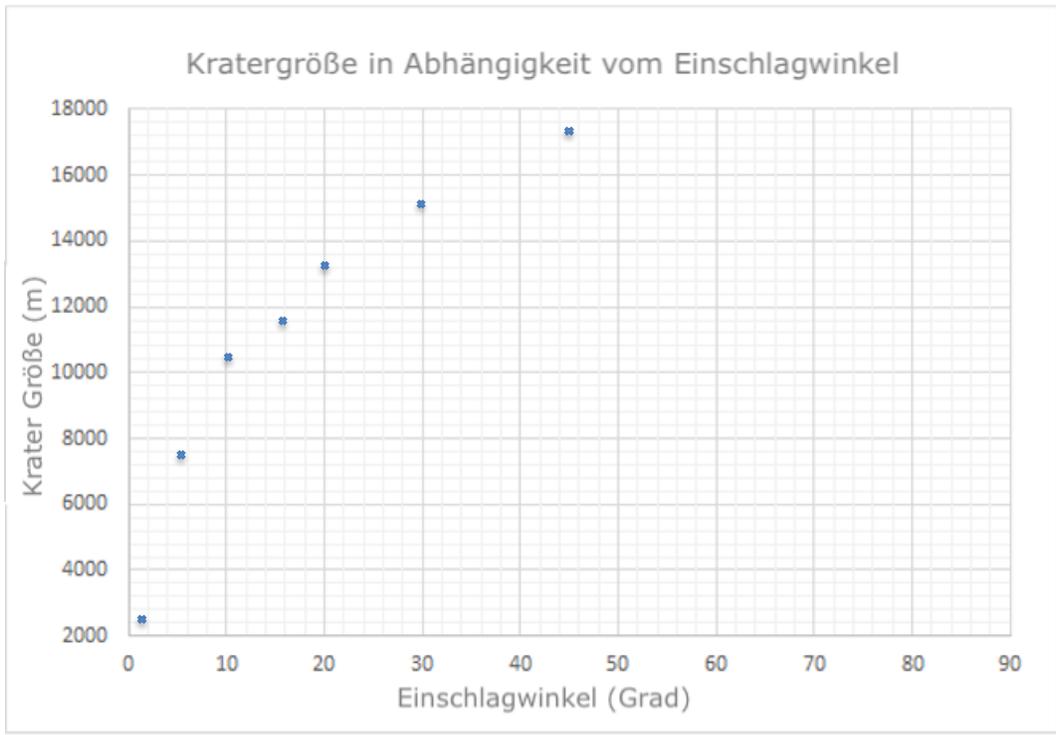
um die Auswirkungen des Asteroids zu ermitteln. Nun wollen wir auch herausfinden, wie die Schäden sich ändern, wenn der Einschlagswinkel variiert.

- a) Füllt die folgende Tabelle für einen 4000 Meter großen Asteroiden aus porösem Gestein aus, der in Sedimentgestein einschlägt. Ihr findet die benötigten Informationen auf der Registerkarte "Datenansicht" und "Kratertiefe" des Einschlagrechners.

Festgestellte Schäden in Abhängigkeit von der Entfernung zum Aufprallort				
Flugbahnwinkel in Grad	Geschwindigkeit des Geschosses (km/s)	Einschlagsenergie ( $10^{21}$ Joule)	Kratergröße (Meter)	Kratertiefe (Meter)
1	10	2.47	2331	496
5	10	2.26	7767	548
10	10	2.44	10214	596
15	10	2.47	11900	624
20	10	2.48	13229	644
30	10	2.49	15276	672
45	10	2.50	17415	699
60	10	2.50	18800	716
90	10	2.50	19849	727

- b) Mit den unter a) gesammelten Daten könnt ihr nun einige Diagramme erstellen, die die Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Energie und Kratergröße vom Flugbahnwinkel zeigen. Zeichnet die Datenpunkte in die folgenden Diagramme ein und verbindet sie.





c) Mit den Graphen könnt ihr nun folgende Fragen beantworten:

- 1) Der Datenpunkt für einen Flugbahnwinkel von 1 Grad folgt nicht immer dem Trend der anderen Datenpunkte. Warum könnte das sein?
- 2) Beschreibt wie die Einschlaggeschwindigkeit sich verändert, wenn man den Einschlagwinkel verändert.
- 3) Ist die Einschlagsenergie stark von dem Einschlagwinkel abhängig?

Die Einschlagsenergie nimmt abhängig vom Einschlagwinkel bis zu einer bestimmten höchsten Energie zu

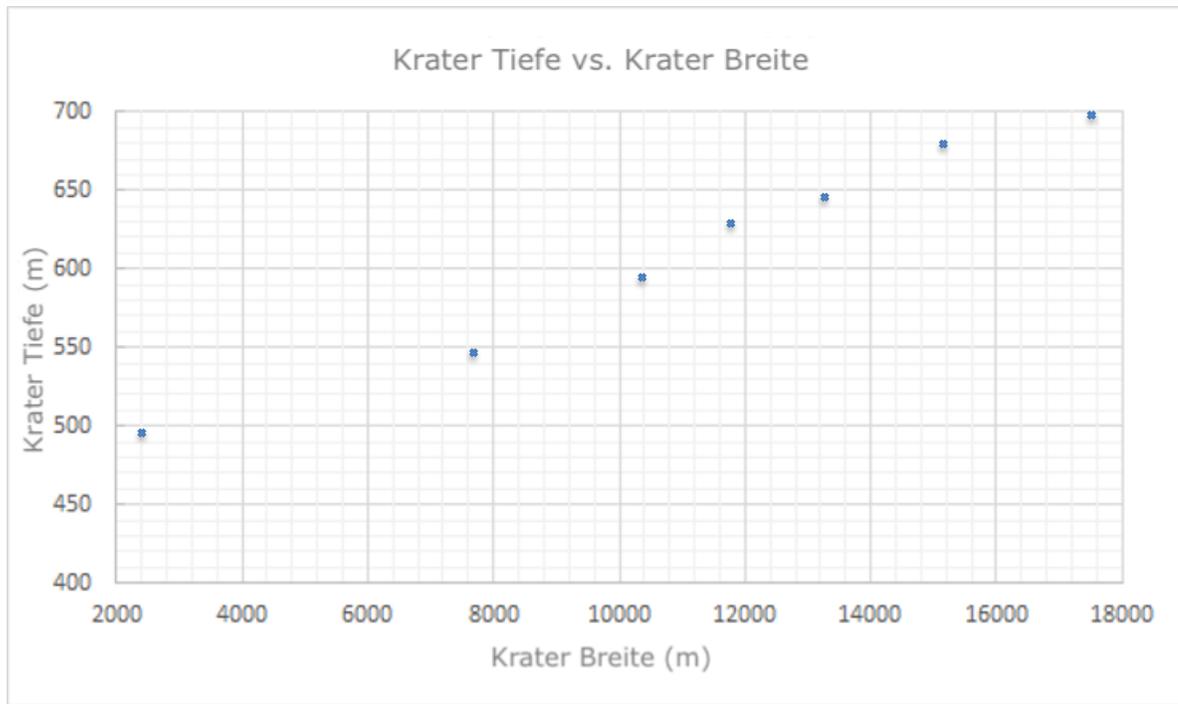
- 4) Könnt ihr euch vorstellen, warum die Geschwindigkeit und die Einschlagsenergie des Asteroids so gering für kleine Winkel ist?

Bei einem kleinen Winkel überträgt der Asteroid noch nicht so viel seiner Energie auf die Erde, da er eher „streift“.

- 5) Beschreibt, wie die Kratergröße variiert, wenn man den Einschlagwinkel ändert.

Die Kratergröße nimmt zu, je größer der Einschlagwinkel wird.

- d) Zeigt die Relation zwischen der Tiefe und der Breite des Einschlagkraters. Gibt es einen einfachen Zusammenhang?



**Schritt 3:** Nehmen wir an, der Asteroid aus dem Zeitungsartikel fliegt auf London zu, das auf Sedimentgestein gebaut ist. Sie verwenden den Down2Earth Impact Calculator, um den Durchmesser und die Tiefe des Kraters unter der Annahme eines Flugbahnwinkels von 1 und 90 Grad zu bestimmen. Können Sie mit eurem Wissen aus Schritt 2 die Kratertiefe und -größe für einen Flugbahnwinkel von 60 Grad extrapolieren?

Bei einer Geschwindigkeit des Geschosses von 10km/s und einem Winkel von einem Grad, beträgt die Kratertiefe 496m, die Größe 2331m. Bei 90 Grad beträgt die Tiefe 727m und die Breite 19849m. Wie in der Lösung zu sehen ist, steigt der Zusammenhang von Tiefe und Breite des Kraters relativ linear an, von daher wäre es möglich, dies zu extrapolieren.

- a) Wie groß sollte der Radius der Evakuierungszone sein, damit keine Menschen betroffen sind?

Nimmt man eine Geschwindigkeit von 10km/s an, sowie eine Größe von 4000m, sollte mindestens in einem Umkreis von 350km alles evakuiert werden, da ab diesem Radius stahlgestützte Gebäude nicht mehr einstürzen.

- b) Nach all den Beobachtungen und Berechnungen: Was denkt ihr? Wird der im Zeitungsartikel erwähnte Asteroid "die Zivilisation beenden", wenn er unsere Erde trifft?

Nein, der Asteroid wird nur lokale Schäden anrichten.

# Erforschung der Mondoberfläche

## Einleitung

### Grundlagen – Der Mond

Der Mond ist ein Satellit unserer Erde. Er ist von der Erde aus am Nachthimmel gut sichtbar und erscheint im Vergleich zu den Planeten unseres Sonnensystems sehr groß. Dies liegt an der Nähe des Mondes zu unserer Erde und aufgrund eben dieser Nähe eignet sich der Mond auch sehr gut als erster Himmelskörper für die Errichtung einer Station.

Genauso wie die Erde, dreht auch der Mond sich um sich selbst. Außerdem dreht er sich um die Erde. Eine Umdrehung dauert einen Monat.

Auf dem Mond selbst sieht es aus wie in einer Steinwüste. Überall ist Geröll und Staub. Im Gegensatz zur Erde weist der Mond sehr viele Krater auf, die durch den Einschlag von Meteoriten entstanden sind. Die dunklen Flecken, die man auch von der Erde aus auf dem Mond aus machen kann, sind besonders große Krater, die man auch „Meere“ nennt.

Die Atmosphäre auf unserer Erde, also eine Hülle aus Gas um unseren Planeten, schützt uns vor Meteoriten, da diese in ihr verbrennen. Außerdem ermöglicht die Erdatmosphäre, dass wir atmen können. Der Mond hat eine solche Atmosphäre nicht, daher können die Meteoriten ungestört einschlagen und Menschen können auf dem Mond nicht atmen.

Außerdem sind die Temperaturunterschiede auf dem Mond enorm. Ist auf dem Mond Nacht so kann es bis zu  $-160\text{ °C}$  kalt werden, am Tag dagegen können die Temperaturen bis auf  $130\text{ °C}$  ansteigen. Entsprechend gibt es auf dem Mond auch kein flüssiges Wasser.

Auch die Anziehungskraft auf dem Mond unterscheidet sich von der auf der Erde. Sie ist nur rund ein Sechstel so groß wie die auf unserer Erde.

<b>Größe des Mondes:</b>	3.475 km
<i>Die Erde ist ca. 4-mal so groß wie der Mond</i>	
<b>Entfernung zur Erde:</b>	400.000 km
<b>Temperatur an der Oberfläche:</b>	- 160 bis + 130 °C
<b>Oberflächenbeschaffenheit:</b>	steinig mit vielen Kratern
<b>Anziehungskraft:</b>	$\frac{1}{6}$ so groß wie die der Erde
<b>Atmosphäre:</b>	Nicht vorhanden
<i>Kein Schutz vor Meteoriten, keine Atmung möglich</i>	



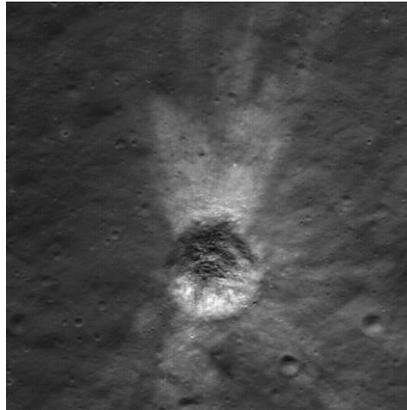
## Grundlagen – Krater auf dem Mond



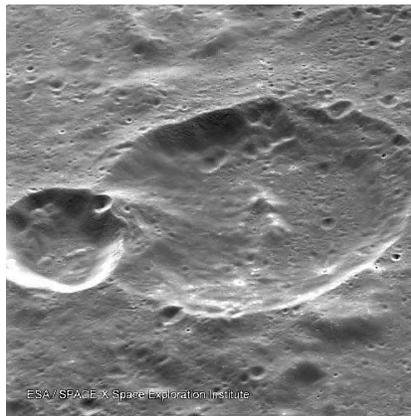
*Bild 1: Die Mondoberfläche ist übersät mit Kratern.*

Über die komplette Oberfläche des Mondes finden pro Jahr ungefähr 180 000 Kollisionen statt (Bild 1 und 2). Die meisten Kollisionen sind klein und erzeugen Krater mit einem Durchmesser von ein paar Metern. Manche Kollisionen sind aber weitaus gewaltiger und erzeugen Krater, die man sogar von der Erde aus beobachten kann.

Auf dem Mond gibt es **fast keine Atmosphäre, keine signifikante Erosion** und **keine geologische Aktivität**. Die Mondoberfläche ist übersät von Einschlagkratern und neue Krater kommen stetig hinzu (Figure 3). Die dunklen Gebiete sind große Einschlagkrater, die sich mit Lava aus dem Inneren des Mondes füllten, welches zu dunklerem Gestein abgekühlt ist. Manche dieser Becken sind riesig. Mare Imbrium zum Beispiel hat einen Durchmesser von 1.145 km.



*Bild 2: Ein 140 m großer Krater auf dem Mond, mit hellen Strahlen entstanden durch die Trümmer, die aus dem Kraterloch beim Einschlag des Asteroiden herausgeschlagen wurden.*



*Bild 3: Ein Doppel-Krater auf dem Mond fotografiert von ESA's SMART-1 Satellit. Es gibt so viele Mondkrater, dass sie anfangen, sich gegenseitig zu überlappen.*

## Einschläge auf der Erde

Eine Kombination aus **Bewegungen der Kontinente** und dem **Wetter** tragen dazu bei, dass die Krater auf der Erde langsam erodieren („auswaschen“). Zugleich schützt unsere **Atmosphäre** uns vor Asteroiden kleiner als 25 m.

Auf der Erde gibt es ungefähr 190 bekannte Einschlagkrater (Earth Impact Database, PASSC). Am bekanntesten ist der Barringer Meteor Crater in der Wüste in Arizona (Bild 4), der einen Durchmesser von 1.2 km hat. Er entstand, als ein 50 m großer Asteroid vor 50 000 Jahren in die Erde krachte. Barringer Meteor Crater ist berühmt, weil er sich so klar von seiner Umgebung unterscheiden lässt. Trotzdem wird Erosion durch das Wetter auch Krater dieser Größe verschwinden lassen über die nächsten Millionen Jahre.



*Bild 4: Barringer Meteor Crater in Arizona. Der Vergleich mit dem Gebäude beim Kraterrand (oben im Bild) gibt ein Gefühl für die beeindruckende Größe des Kraters.*

Größere Krater werden jedoch nicht komplett verschwinden auf der Erde. Nach Hundert Millionen oder sogar Milliarden Jahren bleiben noch Spuren der größten Einschläge für geografische Detektive zu finden. Es kann sogar sein, dass wir in dem Überbleibsel eines riesigen Kometeneinschlags leben, ohne dass wir es wissen!

## Aufgabe 1: Wie entstehen Krater auf dem Mond?

Nachdem wir nun mehr über Krater und Kollisionen gelernt haben, wollen wir Krater auf dem Mond nachbauen, um herauszufinden, was genau bei diesen Einschlägen passiert ist.

### Aufgabe

**Schritt 1:** Öffnet die Website: [http://down2earth.eu/impact\\_calculator/planet.html?lang=de](http://down2earth.eu/impact_calculator/planet.html?lang=de). Folgt dem Link oder sucht bei Google nach "Down2earth Impact Calculator". Oder nutzt die App auf einem Smartphone oder Tablet. Die Sprache der Webseite könnt ihr oben rechts auf „Deutsch“ einstellen.

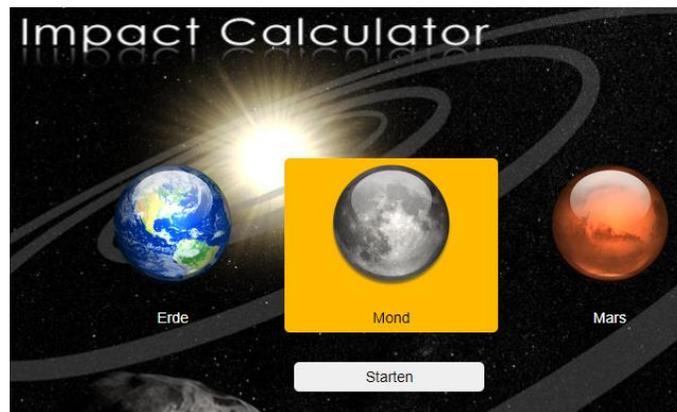


Bild 5: Impact Calculator

Ihr könnt Erde, Mond oder Mars wählen, um einen Asteroideneinschlag zu simulieren. Da wir Einschläge auf unseren Erdnachbarn simulieren wollen, wählt bitte für diese Übung den Mond und klickt auf "Starten".

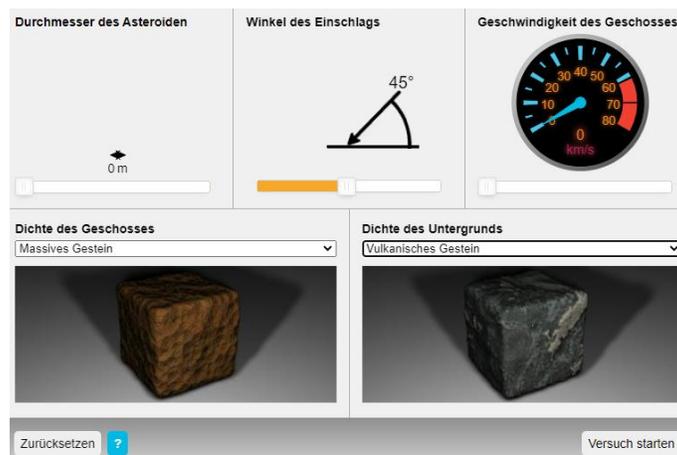


Bild 6: Impact Calculator

Im nächsten Schritt passt ihr die Aufprallparameter an:

- Durchmesser des Asteroiden: Die Größe des Asteroiden oder Kometen, der auf der Mondoberfläche einschlagen soll.
- Winkel des Einschlags: Der Winkel, in dem der Asteroid auf die Oberfläche trifft.
- Geschwindigkeit des Geschosses: Die Geschwindigkeit des Impaktors/Einschlagobjekts.
- Dichte des Geschosses und Dichte des Untergrunds: Wählt, aus welchem Material Ihr Asteroid oder Komet bestehen soll (poröses Gestein, massives Gestein, Eis oder Eisen). Für die Mondoberfläche steht nur vulkanisches Gestein zur Verfügung.

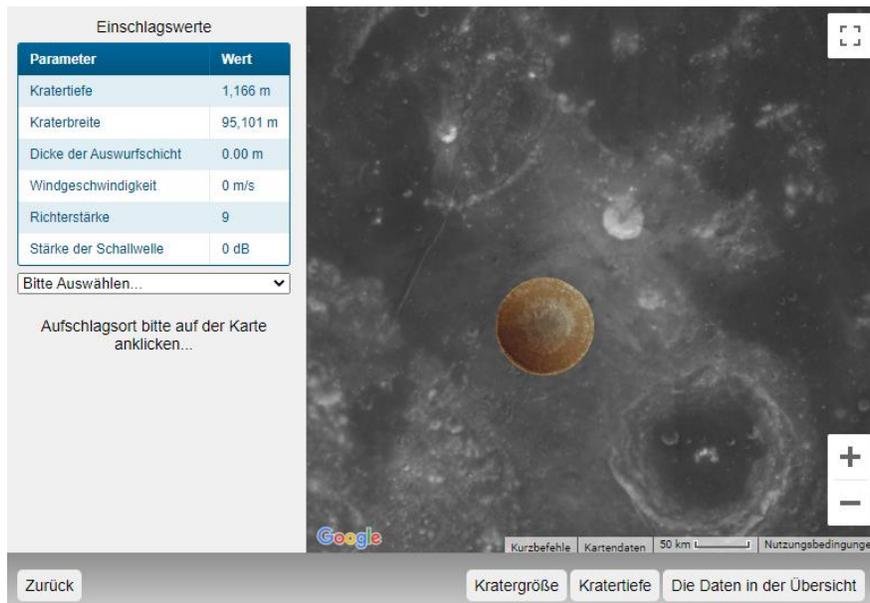


Bild 7: Impact Calculator

Schließlich wählt ihr den Einschlagspunkt aus. Klickt auf die Karte und der Krater wird angezeigt oder wählt den Einschlagspunkt im Dropdown-Menü links. Die Einschlagswerte wie Kratertiefe oder -breite sind auf der linken Seite aufgeführt.

**Schritt 2:** Versucht anhand dieser Informationen und der in Tabelle 2 angegebenen Zahlen, eigene Einschläge zu konstruieren, die zu Kratern führen, deren Breite den vier Kratern auf dem Mond entspricht. Tragt eure Ergebnisse in Tabelle ein.

Einschlagkrater auf dem Mond				
Kraterdurchmesser	Dichte des Geschosses	Durchmesser des Asteroiden (m)	Winkel des Einschlags (Grad)	Geschwindigkeit des Geschosses (km/s)
Bailly (303 km)	Eisen	7000	60	

Tycho (86 km)				27
Kepler (27 km)	Poröses Gestein		40	
West (Apollo 11 Landeort) (100 meter)		100	5	

**Schritt 3:** Wir wollen die Form, Größe und Verteilung von Kratern auf dem Mond systematisch untersuchen. Deshalb variieren wir unsere Einschlagparameter systematisch. Überlegt, wie die Einschlagparameter gewählt werden sollen, um die folgenden Fragen zu beantworten:

a) Gibt es einen Unterschied in der Form der Krater, wenn der Einschlagswinkel variiert?

---



---



---

b) Gibt es einen Unterschied in der Größe der Krater, wenn sich die Geschwindigkeit des Geschosses ändert?

---



---



---

c) Wie verändert sich die Tiefe der Krater bei Verwendung unterschiedlicher Geschossdichten?

---

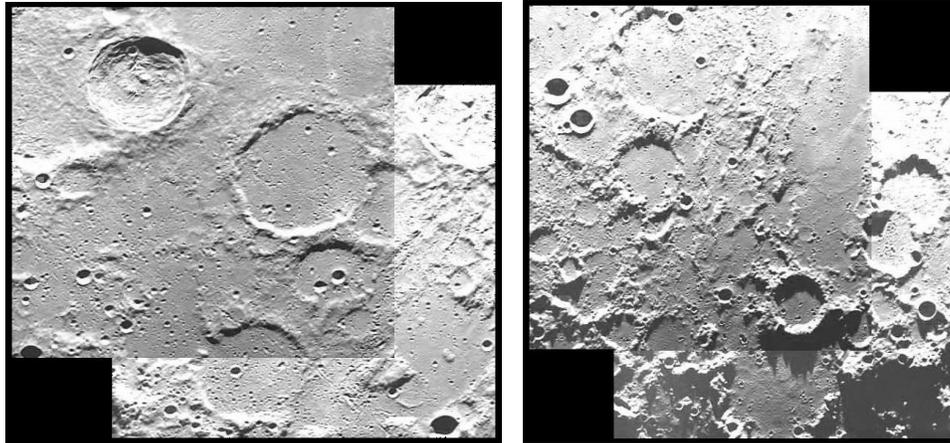


---



---

## Aufgabe 2: Unterschied zwischen Erde und Mond



*Bild 8: Der ESA SMART-1 Satellit hat Fotos von den Gebieten um die Mondkrater aufgenommen. Die großen Krater haben Durchmesser von bis zu 80 km.*

### Schritt 1: Erste Eindrücke

Schreibt auf, was ihr auf den Fotos von dem Mond erkennen könnt:

---

---

---

---

### Schritt 2: Schaut noch mal genauer!

Was könnt ihr auf den Fotos der Mondoberfläche sehen?

- Große Krater überdecken kleine Krater.       Kleine Krater überdecken große Krater.

Gibt es mehr kleine oder mehr große Krater?

- mehr kleine Krater       mehr große Krater



*Bild 9: Auf der Mondoberfläche gibt es viele Krater.*

Was denkt ihr?

- Es gab mehr große Kometen oder Asteroiden, die auf die Mondoberfläche eingeschlagen sind.
- Es gab mehr kleine Kometen oder Asteroiden, die auf die Mondoberfläche eingeschlagen sind.

Warum? Begründet eure Entscheidung.

---

---

---

### **Schritt 3: Vergleich mit den Kratern auf der Erde**

Guckt euch die Fotos von der Erde an (Bild 3). Könnt ihr einen Einschlagkrater erkennen?  
Welche Unterschiede könnt ihr im Vergleich zum Mond entdecken?

---

---

---



Bild 10: Der Manicouagan-Einschlagkrater in Canada ist schon 210 Millionen Jahre alt. Das Foto wurde von dem ESA-Astronauten Tim Peake von der ISS aus aufgenommen.

### Wusstet ihr schon?

... dass unsere Atmosphäre uns vor Asteroiden schützt, die kleiner als 25 Meter sind. Sie verbrennen, wenn sie die Atmosphäre der Erde durchdringen!

Was kann die Krater auf der Erde **stark** beeinflussen? Tauscht euch mit euren Mitschülern und Mitschülerinnen aus.

- |  |  |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Regen               | <input type="checkbox"/> Bewegung der Kontinentalplatten     |
| <input type="checkbox"/> Atmosphäre der Erde | <input type="checkbox"/> Menschen                            |
| <input type="checkbox"/> Raumschiffe         | <input type="checkbox"/> Wechselwirkung mit anderen Planeten |
| <input type="checkbox"/> Erosion             |  |
| <input type="checkbox"/> Wetter              |  |
| <input type="checkbox"/> Aliens              |  |
| <input type="checkbox"/> Tiere               |  |
| <input type="checkbox"/> Pflanzen            |  |
| <input type="checkbox"/> die Sonne           |  |

Jetzt habt ihr schon viel über die Krater von Erde und Mond gesprochen. Was denkt ihr, warum finden wir nicht so viele Krater auf der Erde wie auf dem Mond?

---

---

---

### Aufgabe 3: Fake News?

Ihr erhaltet folgende Nachricht:



#### **Eilmeldung:**

**Asteroid-Warnung: ESA verfolgt Annäherung eines 4 km großen Asteroiden - ein Einschlag könnte das Ende der Zivilisation bedeuten!**

Wenn der Artikel wahr ist, könnte es das Ende der Welt sein, wie wir sie kennen. Aber in Zeiten von Social Media und anderen Online-Plattformen sind Fake News überall zu finden. Um den Wahrheitsgehalt des Artikels zu ermitteln, müssen wir zunächst die Beziehung zwischen Asteroiden, ihren Einschlägen und den daraus resultierenden Folgen verstehen.

**Schritt 1:** Schließlich wollen wir herausfinden, welchen Schaden der erwähnte Asteroid anrichten wird. Dazu verwenden wir den Down2Earth Impact Calculator. Simuliert den Einschlag eines 4 Kilometer großen Asteroiden aus massivem Gestein mit einem Flugbahnwinkel von 32 Grad und einer Geschwindigkeit von 10 km/s in Paris (Sedimentgestein).

Natürlich wählt ihr dieses Mal die Erde statt des Mondes. Für die Erde könnt ihr auch die Entfernung von euch zum Einschlagsort wählen. Setzt diese Variable auf zunächst 50 km. Dadurch könnt ihr erfahren, was die Auswirkungen auf Gebäude und die Natur in 50 km Entfernung zum Einschlagsort sind.

Klickt auf "Absenden" und platziert den Krater in Paris, indem ihr entweder in der Karte nach Paris sucht oder es im Menü auf der linken Seite auswählt. Ihr könnt dann auf "Die Daten in der Übersicht" klicken

und einige physikalische Parameter des Asteroids und des Einschlags sehen. In der Box auf der linken Seite ist der vorberechnete Schaden in der gewählten Entfernung zum Einschlagort aufgelistet.

**Über Ihre Projektil**

Parameter	Wert
Masse	1.01 x 10 <sup>14</sup> kg
Geschwindigkeit des Geschosses	10 km/s
Winkel des Einschlags	32°
Dichte des Geschosses	3,00 kg/m <sup>3</sup>
Dichte des Untergrunds	2,500 kg/m <sup>3</sup>
Fireball Radius	0.00 km

Welche Schäden entstehen 50 km von der Einschlagstelle entfernt?

Mehrstöckige, durch Wände getragene Gebäude stürzen zusammen

Holzrahmengebäude stürzen nahezu komplett ein

Die Stahlrahmenkonstruktion von mehrstöckigen Bürogebäuden verformt sich extrem und beginnt einzustürzen

Kleine Brücken stürzen ein

**Energie des Einschlags**

Parameter	Wert
Bewegungsenergie	5.03 x 10 <sup>21</sup> J
Energie des Einschlags	5.01 x 10 <sup>21</sup> J
Wahrscheinlichkeit: alle	5,279,406 yrs

Was geschieht mit dem Geschoss?

Das Geschoss schlägt zersplittert ein. Das Geschoss trifft auf die Oberfläche mit einer Geschwindigkeit von 9.98 km/s

Ist ein Feuerball sichtbar?

Parameter	Wert
Trifft nicht zu	Trifft nicht zu

Zurück
Kratergröße
Kratertiefe
Die Daten in der Übersicht

Bild 11: Impact Calculator

- a) Recherchiert systematisch die Schäden in verschiedenen Entfernungen zum Einschlagsort (Paris). Dazu müsst ihr nun die Entfernung zum Einschlagsort verändern. Notiert in der folgenden Tabelle, ob die aufgeführten Objekte einstürzen oder beschädigt werden.

Festgestellte Schäden in Abhängigkeit von der Entfernung zum Aufprallort					
Distanz	Große Gebäude mit tragenden Wänden und Stahlskelettkonstruktion	Gebäude aus Holz	Infrastruktur (z. B. Brücken)	Beschädigung von Autos, Fenstern usw.	Schäden an der Natur
0 km					
50 km					
100 km					
200 km					

350 km					
500 km					

- b) Wie weit sollten die Menschen von der Einschlagstelle entfernt evakuiert werden?  
Begründet eure Entscheidung!

---



---



---

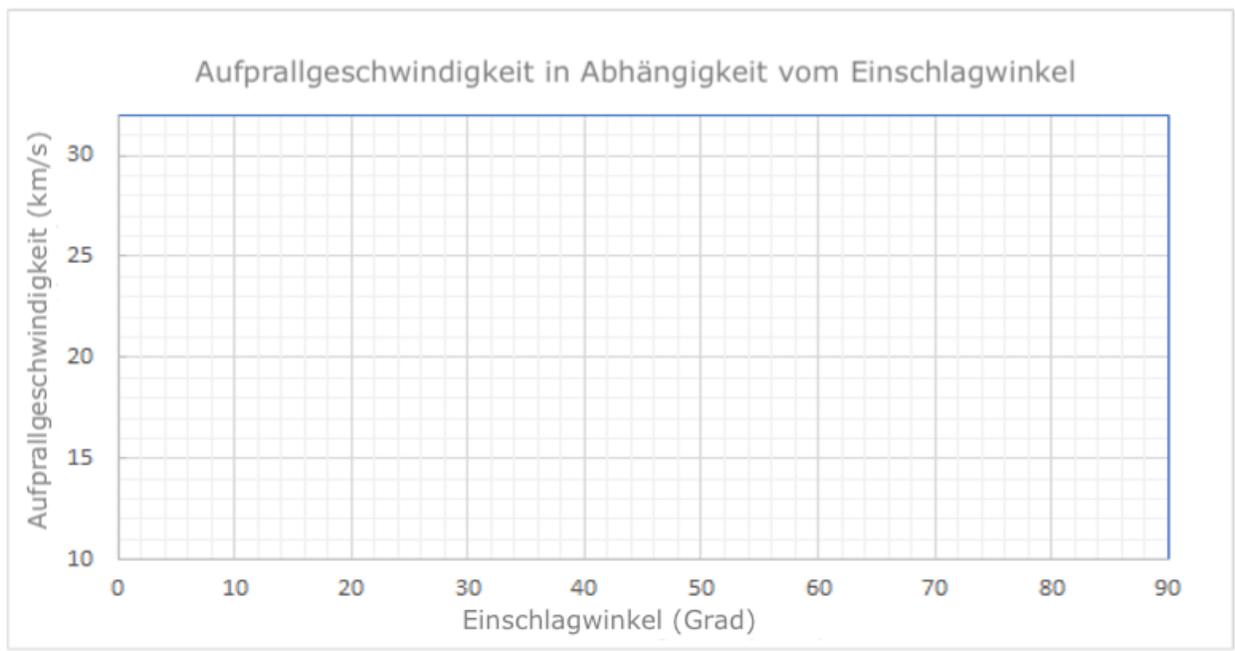
**Schritt 3:** Da die Schäden an Gebäuden kein genaues Maß für einen Asteroideneinschlag sind, verwendet die physikalischen Parameter Einschlaggeschwindigkeit, Einschlagenergie sowie Kratergröße und -tiefe, um die Auswirkungen des Asteroids zu ermitteln. Nun wollen wir auch herausfinden, wie die Schäden sich ändern, wenn der Einschlagswinkel variiert.

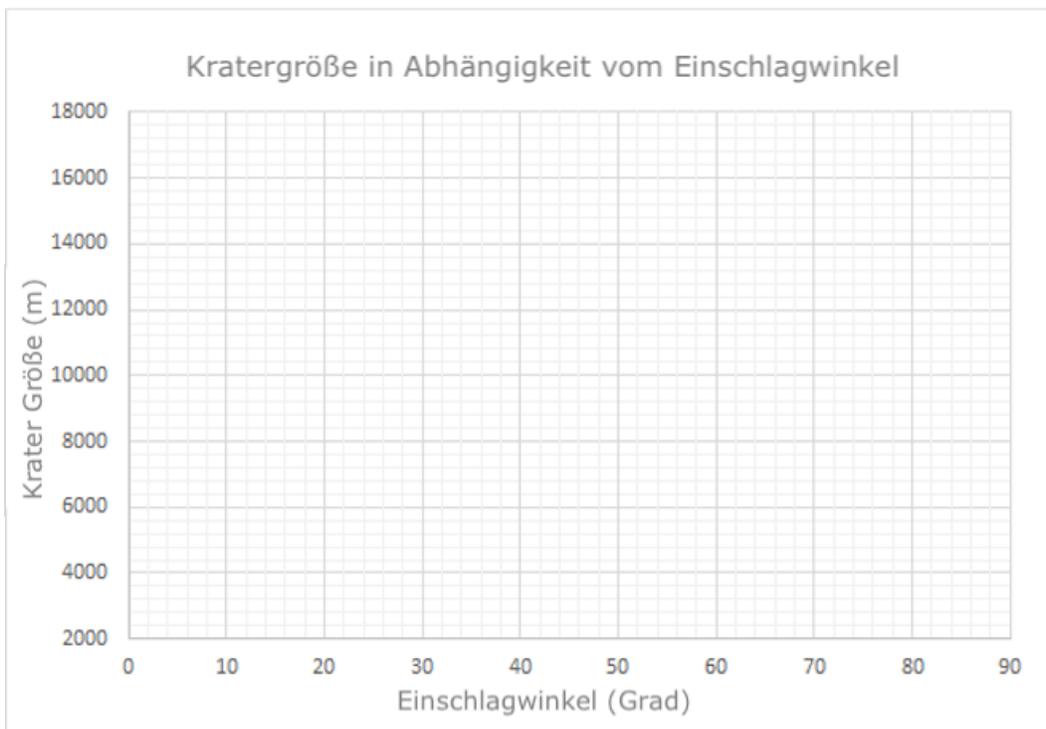
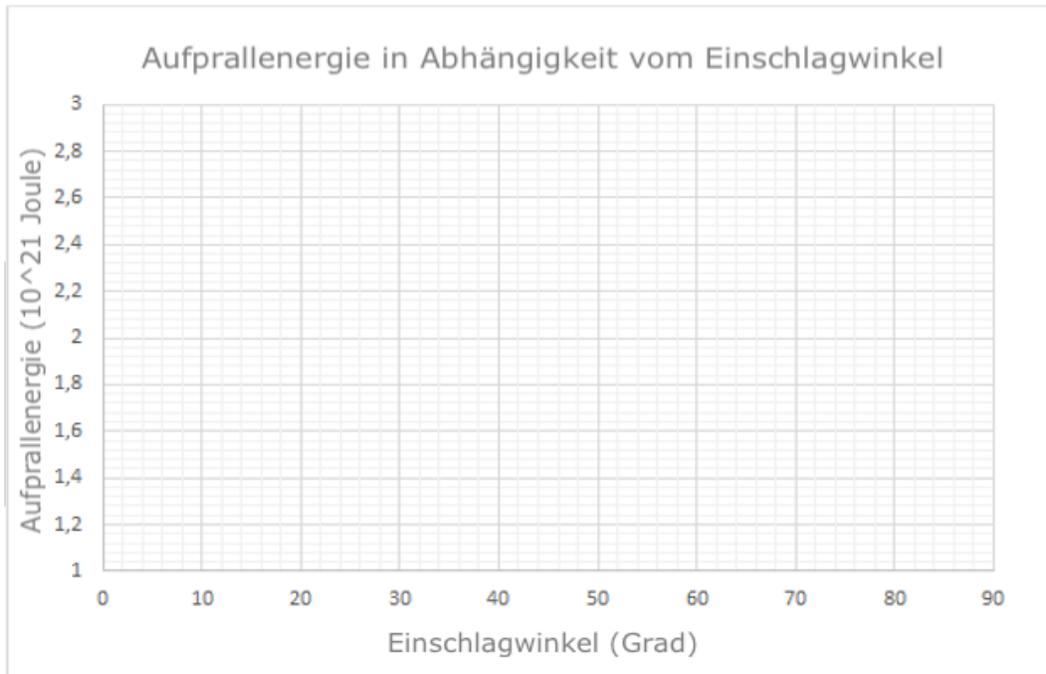
- a) Füllt die folgende Tabelle für einen 4000 Meter großen Asteroiden aus porösem Gestein aus, der in Sedimentgestein einschlägt. Ihr findet die benötigten Informationen auf der Registerkarte "Datenansicht" und "Kratertiefe" des Einschlagrechners.

Festgestellte Schäden in Abhängigkeit von der Entfernung zum Aufprallort				
Flugbahnwinkel in Grad	Geschwindigkeit des Geschosses (km/s)	Einschlagsenergie ( $10^{21}$ Joule)	Kratergröße (Meter)	Kratertiefe (Meter)
1				
5				
10				
15				
20				
30				
45				

60				
90				

b) Mit den unter a) gesammelten Daten könnt ihr nun einige Diagramme erstellen, die die Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Energie und Kratergröße vom Flugbahnwinkel zeigen. Zeichnet die Datenpunkte in die folgenden Diagramme ein und verbindet sie.





c) Mit den Graphen könnt ihr nun folgende Fragen beantworten:

6) Der Datenpunkt für einen Flugbahnwinkel von 1 Grad folgt nicht immer dem Trend der anderen Datenpunkte. Warum könnte das sein?

---

---

---

7) Beschreibt wie die Einschlaggeschwindigkeit sich verändert, wenn man den Einschlagwinkel verändert.

---

---

---

8) Ist die Einschlagsenergie stark von dem Einschlagswinkel abhängig?

---

---

---

9) Könnt ihr euch vorstellen, warum die Geschwindigkeit und die Einschlagsenergie Asteroids ist so gering für kleine Winkel?

---

---

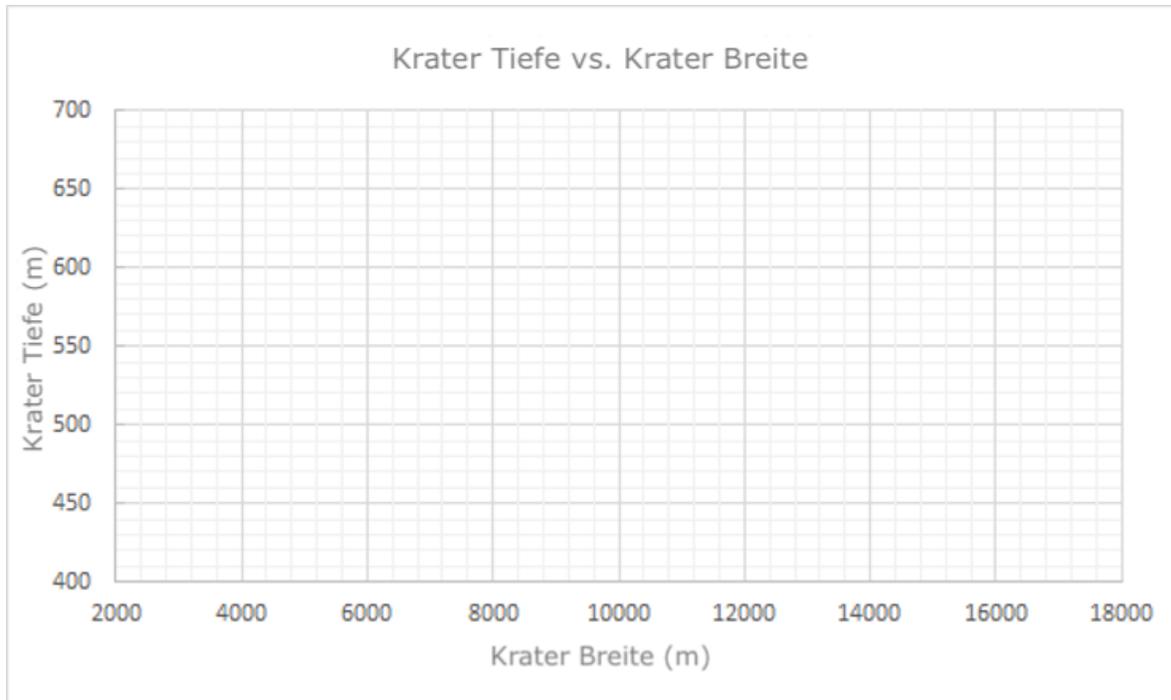
---

10) Beschreibt, wie die Kratergröße variiert, wenn man den Einschlagwinkel ändert.

---

---

- d) Zeigt die Relation zwischen der Tiefe und der Breite des Einschlagkraters. Gibt es einen einfachen Zusammenhang?



**Schritt 3:** Nehmen wir an, der Asteroid aus dem Zeitungsartikel fliegt auf London zu, das auf Sedimentgestein gebaut ist. Sie verwenden den Down2Earth Impact Calculator, um den Durchmesser und die Tiefe des Kraters unter der Annahme eines Flugbahnwinkels von 1 und 90 Grad zu bestimmen. Können Sie mit eurem Wissen aus Schritt 2 die Kratertiefe und -größe für einen Flugbahnwinkel von 60 Grad extrapolieren?

---

---

---

- a) Wie groß sollte der Radius der Evakuierungszone sein, damit keine Menschen betroffen sind?

---

---

---

b) Nach all den Beobachtungen und Berechnungen: Was denkt ihr? Wird der im Zeitungsartikel erwähnte Asteroid "die Zivilisation beenden", wenn er unsere Erde trifft?

---

---

---