

## Asteroideneinschläge

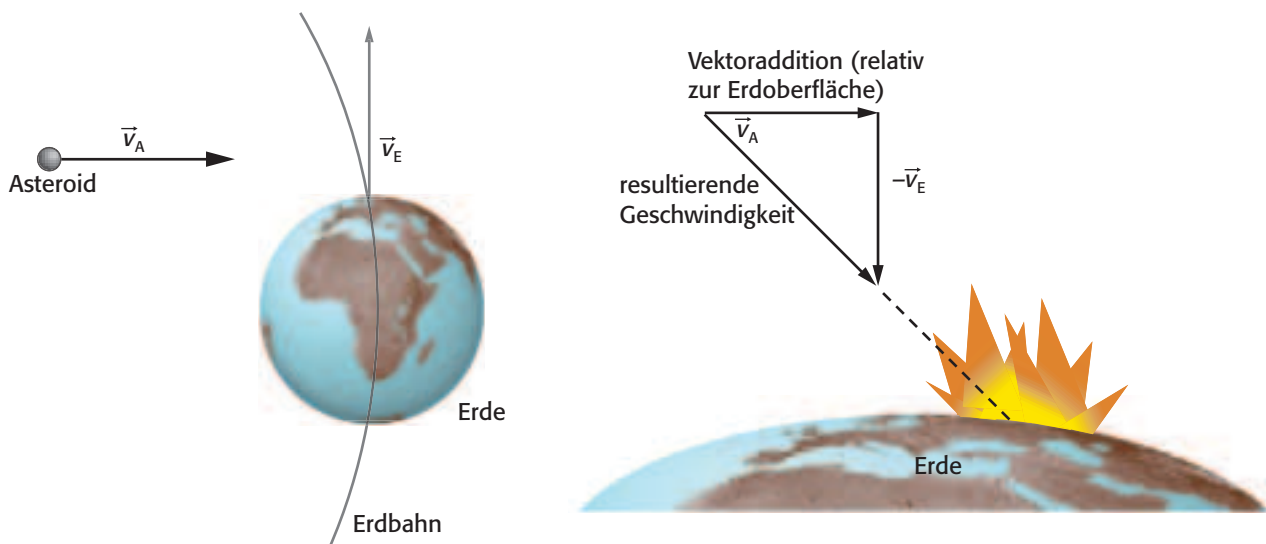
Es gibt physikalisch-astronomische Themen, bei denen man es außerordentlich schwer hat, die Schüler angemessen zu motivieren, und es gibt Themen, für die sich der Lehrer eine zusätzliche Motivation fast ersparen kann. Zweifellos zählt die unterrichtliche Behandlung von Asteroideneinschlägen auf der Erde zur letzteren Kategorie, hat doch die Filmindustrie das „Potenzial“ eines herabstürzenden Himmelskörpers längst erkannt und in verschiedenen reißerischen Filmen verarbeitet. Die Physik bleibt dabei zwar meist auf der Strecke, jedoch – und hier muss man behutsam in das Thema einsteigen – mit genau dieser Feststellung sollte der Unterricht gerade nicht beginnen. Andernfalls ist die Motivation nämlich dahin...

Als Variante bietet sich deshalb an, zunächst mit den Schülern die physikalischen Bedingungen vor und während des Einschlages zu untersuchen, also von dem, was sie vermeintlich im Film „gesehen“ haben, auszugehen. Wichtig dabei ist, die Schüler hierbei ihre eigenen physikalischen Kenntnisse anwenden zu lassen. Schon bald wird sich dann herausstellen, welche Unterschiede zwischen Fiktion und naturwissenschaftlicher Realität bestehen. Erst anschließend sollte man dann auf die Wahrscheinlichkeiten für den tatsächlichen Eintritt eines Asteroideneinschlages eingehen und hierbei auch über erdgeschichtliche Einschläge (Stichwort Dinosauriersterben) sprechen. Nachfolgend werden einfache Modellüberlegungen für die Behandlung des Themas im Schulunterricht mit verschiedenen Schwierigkeitsgraden und für verschiedene Altersstufen vorgestellt. Ergänzend finden sich im Anhang einige Arbeitsblätter. Wie man erkennt, eignet sich das Thema neben dem Astronomieunterricht sehr gut, um bei der Behandlung der Stoffeinheiten mechanische Energieformen und Energieerhaltungssatz diskutiert zu werden.

### Ein einfaches Modell zur Einschlagsgeschwindigkeit

(Vorkenntnisse: vektorieller Charakter der Geschwindigkeit, Bezugssysteme)

Für eine Abschätzung darf man von folgenden Annahmen ausgehen: Ein Erdbahnkreuzer schneide die Bahn der Erde im rechten Winkel, die Bahngeschwindigkeit  $v_A$  des Asteroiden habe, wie die Bahngeschwindigkeit der Erde  $v_E$ , bezüglich der Sonne einen Wert von 30 km/s (Abb. 1).



Wie aus der vektoriellen Addition beider Teilgeschwindigkeiten folgt, hat der Asteroid beim Aufschlag auf der in Richtung Bahnbewegung gelegenen Hälfte der Erde bezüglich der Erdoberfläche eine Geschwindigkeit  $v$  von etwa

$$v = \sqrt{v_A^2 + v_E^2} = 42 \text{ km/s} \quad (1)$$

Wie himmelsmechanische Betrachtungen zeigen, ist die Annahme von Aufschlaggeschwindigkeiten bis zu 70 km/s realistisch.

Testfrage:

Man hat festgestellt, dass die mittleren Geschwindigkeiten der Meteorite beim Aufprall auf der Morgenseite der Erde höher als beim Aufprall auf der Abendseite der Erde sind. Erläutern Sie diesen Sachverhalt!

Lösung:

Auf der Abendseite der Erde ist der Vektor der Erdbewegung vom Aufschlagpunkt weg gerichtet, die resultierende Geschwindigkeit ist deshalb kleiner.

### Die Masse des Asteroiden

(Vorkenntnisse: Definition der Dichte)

Um mit den Schülern eine Vorstellung von den relevanten Massen zu entwickeln, wähle man den Durchmesser  $d$  des kugelförmig gedachten Himmelskörpers zu 1 km und seine Dichte zu  $2,3 \text{ g/cm}^3$ . Beide Zahlenwerte lassen sich folgendermaßen begründen: Ab etwa einem Kilometer Durchmesser geht man von einer globalen Katastrophe beim Einschlag aus. Die gewählte Dichte entspricht einem typischen Wert für die überwiegend aus Gestein zusammengesetzten Asteroiden. Mit den Angaben ergibt sich für die Masse:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 = 1,2 \cdot 10^9 \text{ t} \quad (2)$$

### Die kinetische Energie beim Aufschlag und ihr Vergleich mit anderen Energieformen

(Vorkenntnisse: Energieformen, mechanische Energieformen, Energieerhaltungssatz)

Die mithilfe der Gleichungen (1) und (2) berechnete Geschwindigkeit und die Masse des Himmelskörpers gestatten die Bestimmung seiner kinetischen Energie. Es gilt:

$$E_{\text{kin}} = \frac{m}{2} v^2 = 1,1 \cdot 10^{21} \text{ J} \quad (3)$$

Diese dem Schüler unvorstellbare große Zahl muss veranschaulicht werden. Sie entspricht etwa der 13fachen Energie aller derzeit auf der Erde vorhandenen Kernwaffen ( $8 \cdot 10^{19} \text{ J}$ ). Beim Aufschlag wird die kinetische Energie des Asteroiden in zahlreiche andere Energieformen wie thermische Energie und weitere mechanische Energieformen (Wegschleudern von Materie, Schallwellen) umgewandelt. Die genaue prozentuale Verteilung auf diese einzelnen Energieformen ist mit einer einfachen Abschätzung nicht zu ermitteln. Um aber eine gewisse Vorstellung von den verheerenden Auswirkungen des Einschlages zu entwickeln, kann man modellhaft annehmen, dass die gesamte kinetische Energie in jeweils nur eine weitere Energieform umgewandelt wird (siehe hierzu auch das Arbeitsblatt 1).

Wir nehmen an, der Asteroid würde bei Aufprall ausschließlich Gestein der Erde auf etwa 10 km Höhe emporschleudern. Wie groß wäre die Masse des Gesteins? Aus

$$m \cdot g \cdot h = E_{\text{kin}}$$

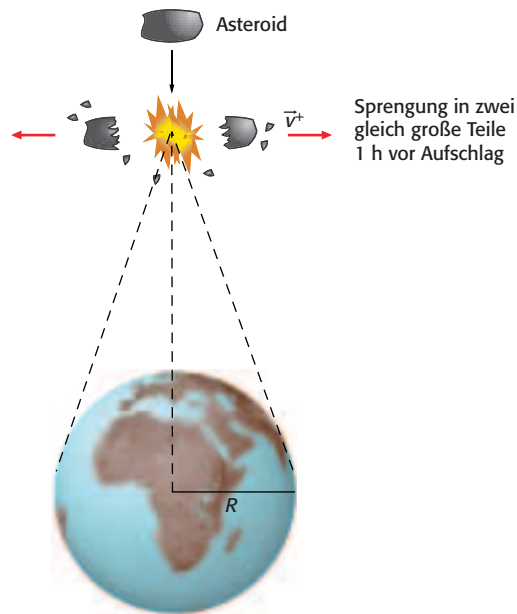
folgt mit den gegebenen Werten und der in (3) berechneten kinetischen Energie:

$$m = \frac{E_{\text{kin}}}{g \cdot h} = 1,1 \cdot 10^{13} \text{ t} \quad (4)$$

Der Asteroid könnte somit das 10 000fache der eigenen Masse wegschleudern. Auch wenn man von der etwas unrealistischen Vernachlässigung anderer Energieformen ausgeht, wird doch erkennbar, dass offensichtlich relativ kleine Objekte vergleichsweise große Kraterlöcher erzeugen.

### Von den Schwierigkeiten, die Erde im „letzten Moment“ zu retten

Im Film muss es abenteuerlich zugehen. Meist wird die Erde erst in letzter Sekunde durch eine spektakuläre Explosion gerettet. Damit die Erde bzw. ihre Oberfläche aber keinen Schaden nimmt, sollen die Trümmer des zerstörten Asteroiden an unserem Heimatplaneten vorbei fliegen. Als einfaches Modell wählen wir einen in Richtung Erdmittelpunkt herannahenden Himmelskörper, der in zwei gleich große Hälften gesprengt wird. Die Sprengung soll eine Stunde vor dem Aufschlag erfolgen und den Bruchstücken eine solche Geschwindigkeit  $v^+$  senkrecht zu ihrer Flugbahn Richtung Erde verleihen, dass sie gerade an der Erdoberfläche vorbei kommen. Die Abb. 2 zeigt, wie die Bewegung der beiden Asteroidenhälften dabei erfolgen muss.



Aufgrund der unabhängigen Überlagerung beider Geschwindigkeitsanteile rast der Asteroid natürlich trotzdem weiter auf die Erde zu. Aus der Abb. 2 entnimmt man die Angaben:

$R = 6378 \text{ km}$  (Erdradius am Äquator),  $m^+ = 0,5 \text{ m} = 6 \cdot 10^8 \text{ t}$  aus Gleichung (2),  $t = 1 \text{ h}$

Damit die Erde gerettet wird, muss die Sprengung den beiden Teilkörpern eine Geschwindigkeit von

$$v^+ = \frac{s}{t} = \frac{R}{t} \quad (5)$$

vermitteln. Sie erhalten dadurch gemeinsam eine zusätzliche kinetische Energie von

$$E_{\text{kin}} = 2 \frac{m^+ v^{+2}}{2} = m^+ \frac{R^2}{t^2} = 1,9 \cdot 10^{18} \text{ J} \quad (6)$$

Diese Energie entspricht etwa 1/40 aller gegenwärtig verfügbaren Atomsprengköpfe. Allerdings würden diese Sprengköpfe nicht ausreichen. Ihre Explosionsenergie würde sich ja nur zu einem geringen Teil in kinetische Energie umwandeln, sondern vielmehr auch in Schmelz- und Verdampfungswärme und elektromagnetische Strahlung übergehen. Kurzfristig kann die Erde also nicht vor einem Einschlag gerettet werden.

Wie man anhand der Gleichung (6) erkennt, wird die zur Rettung der Erde benötigte Energie in unserem Modell immer geringer, je mehr Zeit zur Verfügung steht. Der Zeitfaktor ist tatsächlich der entscheidende. Hieraus erklärt sich das Bestreben, die erdnahen Asteroiden in einem Überwachungsprogramm möglichst vollständig und langfristig zu erfassen. Eine Sprengung strebt man zur Abwendung eines Einschlages aber nicht an. Wenn das gefährliche Objekt mit hinreichender Warnzeit ausgemacht werden kann, ist es besser, es allmählich aus seiner Bahn zu bugsieren.

### Arbeitsblätter

In den nachfolgenden zwei Arbeitsblättern mit Lösungen wurden hauptsächlich die energetischen Aspekte eines Asteroiden- bzw. Meteoriteneinschlages berücksichtigt.

## **Wissenschaft in die Schulen - Bildquellen**

Abbildung 1: Eigene Zeichnung

Abbildung 2: Eigene Zeichnung



## Lösungen:

### Kosmische Katastrophen (1)

Gelegentlich wird in Presse und Rundfunk über die Gefahr diskutiert, die von dem Zusammenstoß der Erde mit einem (relativ massereichen) Kleinkörper unseres Planetensystems ausgeht. Tatsächlich sind solche Zusammenstöße extrem selten. Wenn es aber dazu käme, hätte es dramatische Auswirkungen auf das Leben auf der Erde.

Sollte ein solcher Kleinkörper auf die Erde fallen, wandelt sich seine kinetische Energie in andere Energieformen um.

1. Gib Energieformen an, in die sich die kinetische Energie dabei umwandeln könnte! Begründe deine Vermutungen!

*Wärme (Schmelzwärme, Verdampfungswärme)*

*Mechanische Energie: potentielle Energie (Hochschleudern von Erde, Sand, Wasser)  
Auslösen einer Druckwelle, Verformung der Erdkruste,  
Flutwellen*

2. Sollte eine Himmelskörper in einen Ozean stürzen, dann kann man davon ausgehen, dass sich ein großer Anteil seiner kinetischen Energie in Wärme umwandelt, die zum Verdampfen des Meereswassers führt. Wie viel Tonnen Wasser könnten bei vollständiger Umwandlung von kinetischer Energie in Wärme verdampft werden? Rechne mit einem Objekt der Masse 1 000 000 t und einer Aufprallgeschwindigkeit von 50 km/s. Das Meereswasser habe eine Temperatur von 20 °C!

*Es gilt:*

$$E_{kin} = m_W \cdot c \cdot \Delta\vartheta + m_W \cdot q_V$$

$$m_W = \frac{E_{kin}}{c \cdot \Delta\vartheta + q_V}$$

$$m_W = \frac{\frac{1}{2} \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot (5 \cdot 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 80 \text{ K} + 2260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$m_W = \frac{1,25 \cdot 10^{15} \text{ kJ} \cdot \text{kg}}{2595,2 \text{ kJ}}$$

$$m_W = 4,82 \cdot 10^8 \text{ t}$$

*Der Himmelskörper kann mehr als das Hundertfache seiner eigenen Masse verdampfen.*

Name: \_\_\_\_\_ Klasse: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

## Kosmische Katastrophen (2)

Ein Zusammenprall eines größeren kosmischen Körpers mit der Erde ist extrem selten, aber nicht auszuschließen.

Da sich die Erde bereits mit 30 km/s um die Sonne bewegt, ist die Annahme einer Aufprallgeschwindigkeit von 50 km/s realistisch.

1. Berechne die kinetischen Energien, die Körper mit folgenden Massen bei dieser Geschwindigkeit relativ zur Erde besitzen!

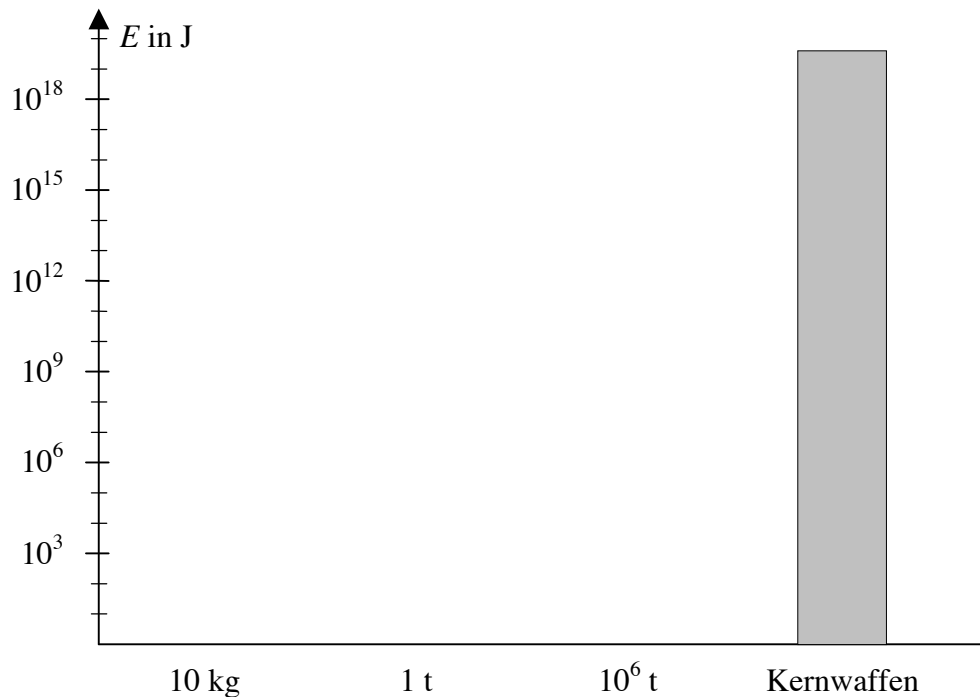
10 kg: \_\_\_\_\_

1 t: \_\_\_\_\_

1 000 000 t: \_\_\_\_\_

2. Vergleiche deine Ergebnisse mit der Energieumwandlung bei der Explosion von Atombomben! (z.Z. entspricht die Sprengkraft aller Kernwaffen der Welt einer Energie von etwa  $8 \cdot 10^{19}$  J.)

Trage dazu die berechneten kinetischen Energien in das Säulendiagramm ein!



3. Eine große Menge Wasserdampf in der Atmosphäre bedeutet viele Wolken. Welche klimatischen Auswirkungen wären zu erwarten, wenn sich die Erde auf solche Weise verdunkeln würde?

---

---

---

---

## Lösungen:

### Kosmische Katastrophen (2)

Ein Zusammenprall eines größeren kosmischen Körpers mit der Erde ist extrem selten, aber nicht auszuschließen.

Da sich die Erde bereits mit 30 km/s um die Sonne bewegt, ist die Annahme einer Aufprallgeschwindigkeit von 50 km/s realistisch.

1. Berechne die kinetischen Energien, die Körper mit folgenden Massen bei dieser Geschwindigkeit relativ zur Erde besitzen!

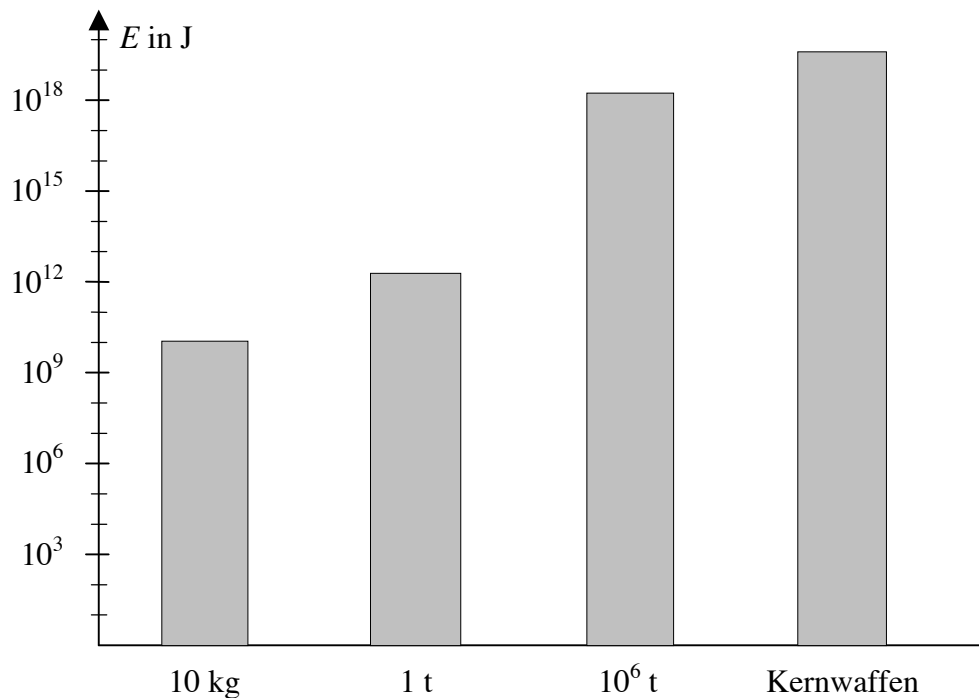
$$10 \text{ kg: } 1,25 \cdot 10^{10} \text{ J}$$

$$1 \text{ t: } 1,25 \cdot 10^{12} \text{ J}$$

$$1\,000\,000 \text{ t: } 1,25 \cdot 10^{18} \text{ J}$$

2. Vergleiche deine Ergebnisse mit der Energieumwandlung bei der Explosion von Atombomben! (z.Z. entspricht die Sprengkraft aller Kernwaffen der Welt einer Energie von etwa  $8 \cdot 10^{19} \text{ J}$ .)

Trage dazu die berechneten kinetischen Energien in das Säulendiagramm ein!



3. Eine große Menge Wasserdampf in der Atmosphäre bedeutet viele Wolken. Welche klimatischen Auswirkungen wären zu erwarten, wenn sich die Erde auf solche Weise verdunkeln würde?

*Abkühlung der Erdoberfläche*

*⇒ Verlangsamung des Pflanzenwachstums, Energieinhalt der Atmosphäre wird erhöht*

*⇒ Stürme, Überschwemmungen (Regenfälle extremer Natur)*