

Von der Tonkugel zum Schalenaufbau der Erde

Eine Diskussion über den Einsatz der Physik bei der Erforschung der Erdstruktur

Schlüsselfragen stellen mit Hilfe von Tonkugeln:

Formen Sie zwei gleich große Tonkugeln für jede Gruppe. Jeweils eine davon sollte im Innern eine Metallkugel (z.B. Kugellagerkugel) verborgen haben.

Stellen Sie dann folgende Fragen:

1. Zwei Tonkugeln – worin besteht der Unterschied?

Geben Sie jeder Schülergruppe ein Kugelpaar und fordern Sie die SuS auf, den Unterschied zu erkunden, **ohne die Kugeln zu beschädigen**. Die Mehrzahl der SuS wird schnell einen Gewichtsunterschied feststellen.

2. Was könnte den Unterschied erklären?

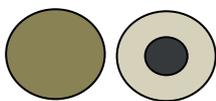
Lassen Sie sich bestätigen, dass eine Kugel schwerer ist als die andere. Fragen Sie dann jede Gruppe nach dem möglichen Grund. Fordern Sie die SuS auf, wenigstens drei verschiedene Vorschläge zu machen.

Die unterschiedlichen Schülervermutungen sollten folgende Überlegungen einschließen:

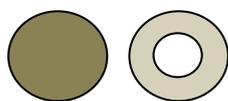
- eine Kugel hat etwas Schweres in ihrer Mitte (z.B. ein Stück Metall);
- eine Kugel hat etwas Leichtes in ihrer Mitte (z.B. ein Loch oder ein Stück Styropor)
- eine Kugel besteht aus schwererem Ton

Die SuS könnten auch vorschlagen:

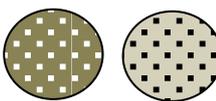
- eine Kugel wird zur Mitte hin immer schwerer (mit verschiedenen Lagen wie bei einigen Süßigkeiten der Fall); oder
- eine Kugel wird zur Mitte hin immer leichter.



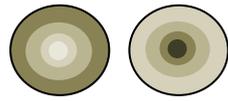
etwas Schweres in der Mitte



etwas Leichtes in der Mitte



"schwerer" und "leichter" Ton



zunehmend schwerer oder leichter

3. Wie kann man herausfinden, welcher Vorschlag der Wahrheit entspricht?

Die SuS überlegen sich nun Versuchsmöglichkeiten, um die verschiedenen Vorschläge zu prüfen. **Die Kugeln sollen dabei unbeschädigt bleiben**. Die SuS dürfen von Ihnen gestellte Geräte nutzen.

Meist vorgeschlagene Ideen:

- etwas, was man in die Kugel stecken kann;
- eine kleine Menge vom jeweiligen Ton der beiden Kugeln zum Auswiegen;
- ein Magnet (oder ein magnetischer Sensor);
- ein Ultraschallgerät;
- ein Metalldetektor
- Röntgenstrahlen
- Strahlung (genauer: ionisierende Strahlung – Alpha-, Beta oder Gamma-Strahlung).

Manche SuS möchten vielleicht auch das Dreh- oder Rollverhalten der Kugeln testen. Nicht akzeptabel sind z.B. Versuchsvorschläge zur Schwimmfähigkeit oder zum Gewicht der Kugeln. Dies würde nur bestätigen, was bereits Wissensstand ist.

Die Antworten auf die vorangegangenen Vorschläge könnten sein:

- **Etwas, was man in die Kugel stecken kann:** Wenn man versucht Streichhölzer durch die Kugeln zu stecken, so geht das eine Streichholz durch, das andere wird durch die Kugel in der Mitte gestoppt.
- **Eine kleine Menge von jedem Ton zum Auswiegen:** Wenn man dies machen würde, wäre die Dichte von jedem Ton gleich;
- **Ein Magnet (oder magnetischer Sensor); Ultraschall; elektromagnetische Resonanz und Röntgen-Strahlen:** all diese Möglichkeiten sollten eine Metallkugel in der Mitte erfassen;
- **Strahlung:** Alpha- und Beta-Strahlen würden den Ton nicht durchdringen; Gamma-Strahlen hingegen würden die Kugel in der Mitte erfassen;
- Obwohl sich die Kugel mit dem festen Inneren besser drehen ließe oder besser rollen würde, ließe sich der harte Kern durch diesen Versuch nicht erforschen.

4. Welcher dieser Tests wäre geeignet, um zu ermitteln, ob die Erde einen Kern hat?

Fordern Sie die SuS auf darüber zu diskutieren. Wählen Sie dann selbst, welche Beispiele aus der Liste für einen solchen Test geeignet wären.

Die Antworten sind:

- **Etwas, was man in die Erde stecken kann:** Dies ist unmöglich. Das tiefste Loch, das jemals in die Erde gebohrt wurde, ist 12 km tief; der äußere Rand des Kerns

liegt jedoch etwa 3000 km tief unter der Oberfläche.

- **Eine kleine Menge von jedem Ton zum Auswiegen:** man kann die Erde auswiegen. So kann man herausfinden, dass die Erde eine relative Dichte von $5,5 \text{ g/cm}^3$ hat, während Krustengesteine eine relative Dichte von ca. 3 g/cm^3 haben. Das deutet darauf hin, dass etwas von hoher Dichte tief im Innern der Erde ist;
- **Ein Magnet (oder ein magnetischer Sensor):** So kann das Magnetfeld der Erde erfasst werden, also muss tief im Innern etwas sein, was es auslöst;
- **Ultraschall:** die hohe Frequenz von Ultraschallwellen würde die Erde nicht durchdringen können, aber Schallwellen mit niedrigerer Frequenz (was vielleicht den Namen 'Infraschall' tragen könnte),

oder seismische Wellen durchdringen die Erde und geben am besten Aufschluss über Position und Beschaffenheit des Kernes;

- **Elektromagnetische Resonanz und Röntgenstrahlen:** diese durchdringen die Erde nicht;
- **Ionisierende Strahlung:** noch nicht mal Gammastrahlen können die Erde durchdringen; sie gelangen nur einige Meter tief in Beton;
- **Wie sich die Erde dreht (ihre Massenträgheit):** deutet auf einen festen Erdkern hin.

Zusammenfassung: den besten Beweis für das Vorhandensein eines Kerns liefern seismische Wellen; Dichtemessungen, Drehmoment und Magnetismus sind jedoch auch geeignet.

Der Hintergrund:

Inhalt:

Eine Reihe von Fragen soll die SuS zur Diskussion anregen. Die SuS sollen ihr Wissen vom Schalenbau der Erde und darüber, wie geophysikalische Methoden genutzt werden, erweitern. Außerdem soll das Denkvermögen geschult werden.

Lernziele: SuS können:

- Hypothesen mit Hilfe einer Diskussion entwickeln;
- Methoden zur Überprüfung der Hypothesen nennen;
- Physikalische Methoden nennen, die zur Erforschung der Erde geeignet sind;
- Methoden beschreiben, die das Vorhandensein eines Erdkerns belegen.

Kontext:

Sie könnten den Schalenbau der Erde ebenfalls schnell am Beispiel eines Schaubildes veranschaulichen und auf den Erdkern hinweisen. Die SuS sollen dies verinnerlichen und lernen. Oder...Sie entwickeln ein tieferes Verständnis für den Schalenbau und nutzen die o.a. Fragenreihe.

Trotz des größeren Zeitbedarfs dieser Diskussion gegenüber der Anfertigung von Schaubildern schärft diese Vorgehensweise doch das Verständnis für die Existenz eines Erdkerns. Dabei werden zusätzlich zahlreiche Aspekte der Physik angesprochen und das Denkvermögen geschult.

Mögliche Anschlussaktivitäten: Die SuS können die Dichte der Kugel mit dem harten Inneren auf ähnliche Weise erarbeiten wie sie zur Erforschung der Erdkern-dichte verwandt wird. Durch:

- Auswiegen der Kugel ohne festen Kern, um deren Masse zu bestimmen;
- Bestimmung des Volumens dieser Kugel durch Messen des Radius. Dabei kann diese Formel verwendet werden:

$$\text{Volumen einer Kugel} = \frac{4}{3} \pi r^3$$

- Errechnen der Dichte der Kugel und so Errechnen der Dichte des Tons: Dabei kann diese Formel verwendet werden:

$$\text{Dichte} = \text{Masse/Volumen}$$

- Auswiegen der Kugel mit festem Kern, um deren Masse zu bestimmen;
- Bestimmen der Gewichts-differenz beider Kugeln; so erhält man die zusätzliche Masse der Kugel im Inneren;
- Bestimmung des Radius des festen Kerns in der Kugel mit dem festen Kern; hierzu wird ein Streichholz in die Kugel mit dem Kern gesteckt, dann wird das Messergebnis vom Gesamtradius der Kugel abgezogen;

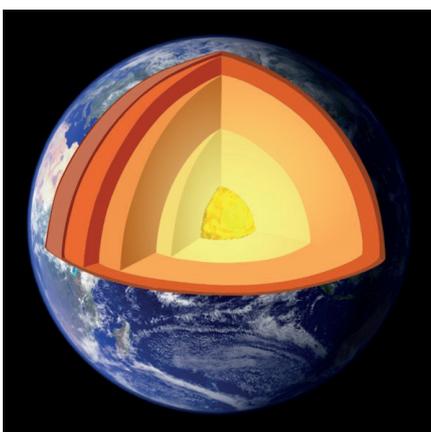


Abb.1: Ausschnittszeichnung der Erde, Kern in Gelb dargestellt. (Ich, Charles C, Halter des Copyright dieser Abbildung, veröffentliche es hiermit unter Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0)

GEEIGNETES ALTER DER SCHÜLER:

14 - 18 Jahre

ZEITBEDARF :

ca. 20 Minuten

- Errechnen des Volumens des festen ‚Kerns‘;
- Errechnen der zusätzlichen Dichte des festen Kerns; hierzu wird die zusätzliche Masse des festen ‚Kerns‘ durch sein Volumen geteilt;
- Das Addieren dieses Ergebnisses zur Tondichte ergibt die Dichte des festen ‚Kerns‘.

Diese Methoden wurde für die Dichteberechnungen der unterschiedlichen Erdschichten angewandt. Aufgrund dieser Berechnungen wird vermutet, dass die relative Dichte des Erdkerns zwischen $9,9 \text{ g/cm}^3$ (am äußeren Rand des Kerns) und 13 g/cm^3 (in der Mitte) beträgt. Dagegen hat die Erdkruste eine Dichte von etwa 3 g/cm^3 , während die relative Dichte der gesamten Erde $5,5 \text{ g/cm}^3$ beträgt.

Grundlegende fachliche Prinzipien:

- Diese Methode festigt das allgemeine Verständnis für zahlreiche physikalischen Prozesse und Gegebenheiten wie Dichte, Drehmoment, Magnetismus, Elektromagnetismus, Schall (Ultraschall und Seismik) sowie Strahlung (Röntgenstrahlung und ionisierende Strahlung).
- den besten Beweis für das Vorhandensein eines Kerns liefern seismische Wellen; Dichtemessungen, Drehmoment und Magnetismus liefern jedoch nützliche Zusatzinformationen.

Denken lernen:

Das Entwickeln der Hypothesen stellt einen Konstruktionsprozess dar; die Gruppendiskussion führt sicherlich zu kognitiven Konflikten und kann die Metakognition fördern, wenn SuS ihre Argumentationskette darlegen sollen. Der Übergang von der Tonkugel zur Erde erfordert ein Transfervermögen.

Hilfreiche Links:

Der US Geological Survey hat auf seiner Website ein anschauliches Buch zum Schalenbau der Erde und zur Plattentektonik veröffentlicht, das heruntergeladen werden kann. Titel: 'This dynamic Earth: the story of plate tectonics' <http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/dynamic.html>

Quelle:

Erstellt in Anlehnung an 'King, C. (2002) The secrets of Plasticine balls and the structure of the Earth: investigation through discussion. Physics Education, 37 (6), 485 – 491' auf der Grundlage einer Idee von John Reynolds und Maggie Williams wie beschrieben in 'King, C. & York, P. (1996) Investigating the science of the Earth, SoE2: geological changes – Earth's structure and plate tectonics. Sheffield: Earth Science Teachers' Association.'

Übersetzung:

Dipl.-Geogr. Julia Brinkmann

MATERIALLISTE:

- ein Paar Tonkugeln (oder Knetmasse Placticine™) pro Gruppe – jede sollte einen Durchmesser von 2 bis 3 cm haben, eine der beiden Kugeln soll in ihrem Innern eine Metallkugel (oder ein Metallstück) beinhalten. Der 'Kern' sollte ca. die Hälfte des Gesamtdurchmessers ausmachen. Um die Kugeln besser auseinanderhalten zu können, ist es ratsam, unterschiedliche Farben zu verwenden.
- Streichhölzer (wahlweise auch Schaschlikspieße oder Nadeln)
- ein starker Magnet

Optional, für die Zusatzarbeit: eine Waage und ein Lineal (für größere Genauigkeit ist auch ein Zirkel möglich)

©Earthlearningidea-Team. Das Earthlearningidea-Team produziert in regelmäßigen Abständen Unterrichtsideen zu geowissenschaftlichen Themen, die in den Schulfächern Geographie oder Naturwissenschaften mit wenig Kosten und Ressourcen umgesetzt werden können. Eine Online-Diskussion rund um die Idee soll zur Entwicklung eines globalen Unterstützer-Netzwerkes beitragen. „Earthlearningidea“ bekommt nur wenig finanzielle Unterstützung und wird hauptsächlich auf Freiwilligenbasis entwickelt. Auf Copyright-Rechte für das jeweilige Originalmaterial wird verzichtet, so lange die Idee innerhalb von Klassenzimmern und Laboren umgesetzt wird. Copyright-Rechte Dritter innerhalb des verwendeten Materials bleiben bestehen. Möchten irgendwelche Organisationen dieses Material verwenden, mögen diese das Earthlearning-Team kontaktieren.

Zwecks Copyright-Rechten Dritter bemühte man sich, die Copyright-Inhaber zu kontaktieren und ihre Genehmigung einzuholen. Bitte nehmen Sie mit uns Kontakt auf, sollten Sie der Meinung sein, dass Ihre Copyright-Rechte verletzt worden sind. Wir sind dankbar für alle Informationen, die uns helfen, unsere Angaben auf dem aktuellen Stand zu halten.

Wenn Sie irgendwelche Schwierigkeiten mit der Lesbarkeit der Dokumente haben, kontaktieren Sie bitte das Earthlearning-Team zwecks weiterer Hilfe.

Kontakt zum Earth-Learning-Team: info@earthlearningidea.com

Zu Fragen bezüglich der deutschen Übersetzung: [Dirk Felzmann: felzmann@uni-landau.de](mailto:Dirk.Felzmann@uni-landau.de)