

<b>Thema/Titel</b>	<b>Die Tragfähigkeit der Wirbelsäule</b>
<b>Kontext</b>	<i>Schulalltag: Tragen der Schultasche</i> <i>Evolution: Aufrechter Gang</i>
<b>Zusammenfassung</b>	Die Schülerinnen und Schüler sollen mit Hilfe von Draht ein Modell einer Wirbelsäule nachbauen, welches möglichst viel Gewicht in Form von Murmeln tragen soll. Dabei sollen sie erkennen, Welche Vorteile die doppelte S-Form der menschlichen Wirbelsäule hinsichtlich Belastbarkeit und Flexibilität besitzt.
<b>Basiskonzept(e)</b>	<b>Struktur und Funktion</b>
<b>Kompetenzen</b>	Die Schülerinnen und Schüler...
<b>Fachwissen</b>	* ...Beschreiben u. erklären Struktur u. Funktion von Organen u. Organsystemen. (F 2.4) ...Beschreiben u. erklären Verlauf u. Ursachen der Evolution. (F 3.6)
<b>Erkenntnisgewinnung</b>	...Beschreiben u. vergleichen Anatomie u. Morphologie von Organen. (E 2) ...Führen Untersuchungen mit geeigneten qualifizierenden oder quantifizierenden Verfahren durch. (E 5) ...Planen einfache Experimente, führen die Experimente durch und werten sie aus. (E 6) ...Wenden Schritte aus dem experimentellen Weg der Erkenntnisgewinnung zur Erklärung an. (E7) ...Erörtern Tragweite und Grenzen von Untersuchungsanlage, -schritten u. -ergebnissen. (E 8) ...Wenden Modelle zur Veranschaulichung von Struktur und Funktion an. (E 9) ...Beurteilen die Aussagekraft eines Modells. (E 13)



## Aufgabe

# Der Architekten-Wettbewerb

### Aufgabe:

Baut in eurer Gruppe (2-4 Schüler) mit den vorgegebenen Materialien eine Konstruktion, die gleichzeitig möglichst hoch ist und möglichst viel Gewicht trägt!

Dafür habt ihr 15 Minuten zur Verfügung.

Anschließend sollt ihr euer Endergebnis (ggf. auch weitere Varianten) der gesamten Klasse vorstellen.

Die höchste Konstruktion, die alle 10 Murmeln tragen kann, wird zum Schluss prämiert.

### Material:

- Holzstativ mit Bohrlöchern
- 2 bis 3 Stahldrähte mit Haken
- Pappbecher mit 10 Murmeln (oder Münzen)

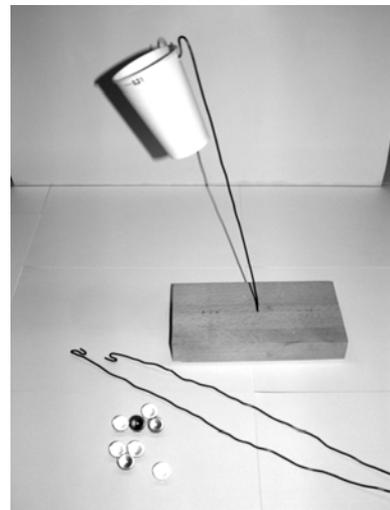


Abb. 1: © Reeg

### Beachtet!

Das Holzstativ muss flach auf dem Tisch liegen.

Es darf jeweils nur ein Draht eingesetzt werden. Der zweite und dritte Draht steht für Vergleichskonstruktionen zur Verfügung.

Der Pappbecher hängt an dem Haken und darf nicht auf andere Weise befestigt werden.

### Weiterführende Überlegungen:

1. Welche Rolle spielt solch eine Konstruktion in der Natur bzw. bei Lebewesen?
2. Welchen unterschiedlichen Anforderungen muss ein Lebewesen gerecht werden?

### Weiterführende Aufgaben:

Wiederhole die Konstruktionsaufgabe

- a) mit einem dünneren Draht
- b) mit einem anderen Material (z.B. flexiblerer Kupferdraht)!

Welchen Bezug erkennst du zwischen dem Modell und dem natürlichen System?

**Alternatives Arbeitsblatt (Teil 1):**

## Architekten bauen Wolkenkratzer

Lehrerdemonstration:

Die vorgestellte Drahtkonstruktion (siehe rechte Abb.) kann den Becher mit den 10 Murmeln nicht oben halten.

Fragestellung:

Wie kann das Gewicht möglichst hoch gehalten werden?

Hypothese:

Durch das Verbiegen des Drahtes in eine bestimmte Form kann die Konstruktion stabilisiert werden.

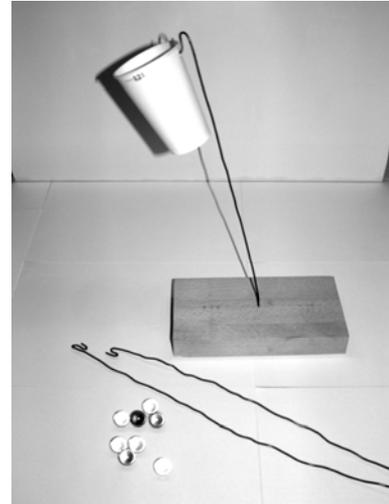


Abb. 1: © Reeg

Aufgabe:

Zeichne zwei Möglichkeiten, wie der Draht sinnvoll gebogen werden kann, sodass der Becher mit den 10 Murmeln möglichst hoch gehalten wird!

Variante 1:	Variante 2:
-------------	-------------

Durchführung des Experiments:

Wählt in eurer Gruppe (2-4 Schüler) die zwei besten Ideen bzw. Zeichnungen aus und versucht die Konstruktionen mit den vorgegebenen Materialien nachzubauen! Dafür habt ihr 10 Minuten zur Verfügung.

Material:

- Holzstativ mit Bohrlöchern
- 2 bis 3 Stahldrähte mit Haken
- Pappbecher mit 10 Murmeln (oder Münzen)

**Beachtet!**

Das Holzstativ muss flach auf dem Tisch liegen.

Es darf jeweils nur ein Draht eingesetzt werden. Der zweite und dritte Draht steht für Vergleichskonstruktionen zur Verfügung.

Der Pappbecher hängt an dem Haken und darf nicht auf andere Weise befestigt werden.

**Alternatives Arbeitsblatt (Teil 2):**

Auswertung:

Haltet eure Ergebnisse (evtl. in Form einer weiteren Zeichnung) für jede getestete Variante fest!

Ergebnis 1:	Ergebnis 2:
Unsere Vermutung (Hypothese) war <i>richtig/ falsch</i> .	Unsere Vermutung (Hypothese) war <i>richtig/ falsch</i> .

Welche Probleme ergaben sich bei der Durchführung?

Was würdet ihr bei einer Wiederholung des Experiments anders machen?

Weiterführende Überlegungen:

Welche Rolle spielt solch eine Konstruktion in der Natur bzw. bei Lebewesen?	
Welchen unterschiedlichen Anforderungen muss ein Lebewesen gerecht werden?	

Weiterführende Aufgaben:

Wiederhole die Konstruktionsaufgabe

- a) mit einem dünneren Draht
- b) mit einem anderen Material (z.B. flexiblerer Kupferdraht)!

Welchen Bezug erkennst du zwischen dem Modell und dem natürlichen System?

## Wissenschaftsmethodischer Prozess

<b>Versuch</b>	Thema:
<b>Phänomen/Beobachtung:</b>	Die Tragfähigkeit der Wirbelsäule
<b>Fragestellung:</b> Wie lautet die zu untersuchende Frage?  <b>Hypothese:</b> Welche Hypothesen lassen sich formulieren ( $H_1$ und $H_0$ )?  Was müsste man beobachten können, wenn $H_1$ stimmt?	Wie kann ich gleichzeitig Höhe und Tragfähigkeit einer Drahtkonstruktion optimieren?  a) Der Draht muss durch Windungen stabilisiert werden. b) Der Schwerpunkt muss entlang der senkrechten Achse liegen.
<b>Versuchsplanung:</b> Was muss gemessen werden?  Welche Variable muss verändert werden?  Welche Variablen müssen konstant gehalten werden?	Höhe des Drahtes bei konstanter Masse  Biegung des Drahtes  Gewicht, Drahtmaterial, Stärke und Länge des Drahtes
<b>Durchführung:</b> Welche Geräte/Materialien werden benötigt?  Wie wird das Experiment durchgeführt (z. B. Anzahl der Messwiederholungen)?  Gibt es störende Versuchsbedingungen?	Holzstativ mit Bohrlöchern 2 bis 3 Stahldrähte mit Haken Pappbecher mit 10 Murmeln (oder Münzen)  Offenes Experimentieren mit Zeitvorgabe  Erschütterungen der Unterlage, starke Luftströmungen
<b>Auswertung der Daten:</b> Was ist das Ergebnis des Experimentes?  Konnte $H_1$ bestätigt werden?  Welche Fehler beeinflussen das Ergebnis?	Eine Mehrfach-S-Form bewährt sich als Konstruktion mit hoher Tragfähigkeit und maximaler Höhe. Dabei wird sich ein Kompromiss zwischen der Einfach-S-Form, der Doppel-S-Form und der Mehrfach-S-Form in Abhängigkeit vom vorgegebenen Gewicht einstellen.  ungleiche Biegung des Drahtes aufgrund der Handarbeit

**Schlussfolgerung:**

Welche allgemeine Schlussfolgerung lässt sich aus den Ergebnissen ziehen?

Ergeben sich neue Fragen?

Die Natur hat in der Doppel-S-Form der Wirbelsäule eine Konstruktion gefunden, die Tragfähigkeit, Flexibilität und Bauvorgaben gleichzeitig optimiert

Welchen weiteren ggf. auch konträren Anforderungen muss ein Organismus gerecht werden?

<b>Erwartungshorizont</b>					
<b>Aufg Nr.</b>	<b>Erwartetet Schülerleistung</b>	<b>Standards</b>			
		<b>F</b>	<b>E</b>	<b>K</b>	<b>B</b>
<b>1.1</b>	Lösung einer Konstruktionsaufgabe durch Optimieren unterschiedlicher Anforderungen		<b>5, 6, 7, 8</b>		
<b>1.2</b>	Präsentation der Ergebnisse			<b>3, 5</b>	
<b>1.3</b>	Diskussion über alternative Konstruktionsvorschläge			<b>1, 6</b>	
<b>1.4</b>	Transfer des Modell auf natürliche Systeme/ Organismen	<b>2.4</b>	<b>2, 9, 13</b>	<b>8</b>	
<b>1.5</b>	Berücksichtigung weiterer, ggf. auch konträrer Anforderungen innerhalb eines Organismus	<b>(3.6)</b>	<b>8</b>		
<b>1.6</b>	Überlegungen zur Belastbarkeit der Konstruktion bzw. der Wirbelsäule				<b>2</b>

**Anmerkungen der Autoren zum Einsatz der Aufgabe (z.B.):**

- offenes Experimentieren
- Problemorientierung
- Kontexte
- Kooperatives Lernen
- ...

**1.) Unterrichtsthema**

Bau und Funktion der Wirbelsäule des Menschen sind Thema des Biologieunterrichts in Klasse 5 innerhalb der Lehrplaneinheit „Mensch: Körperhaltung und Bewegung“<sup>1</sup>. Die Wirbelsäule stellt für einen ganzen Tierstamm den namensgebenden Knochen dar und erhält nicht nur dadurch einen besonderen Stellenwert. Sie hat darüber hinaus als zentraler Knochen im Skelett der Wirbeltiere eine entscheidende Trag- und Verankerungsfunktion für das gesamte Bewegungssystem.

Welche Aufgaben hat dieser Knochen im Einzelnen zu erfüllen? Zunächst einmal soll er den Körper aufrecht halten, sodass die Vorderextremitäten für den Gebrauch von Werkzeugen und das Tragen von Materialien frei werden. Gleichzeitig wird der Kopf und damit die wichtigen Fernsinnesorgane, Augen und Ohren, exponiert. Neuere Forschungen zeigen auch, dass der aufrechte Gang die Thermoregulation des Körpers unterstützt. Dies bedeutet, dass die Wirbelsäule nicht nur das Eigengewicht des Oberkörpers zu tragen hat, sondern auch zu transportierende Gegenstände. Gleichzeitig muss der Knochen noch die notwendige Flexibilität mitbringen, um mit den Vorderextremitäten den Boden zu erreichen und etwas hochzuheben, sowie die notwendige Elastizität, um bei einem Sprung durch die entstehende Kompression nicht zu brechen. Bei einem Innenskelett, wie es für den gesamten Tierstamm kennzeichnend ist, konkurrieren außerdem die Knochen und Muskeln mit essentiellen inneren Organen um den begrenzten Raum.

Sicherlich kann man durch die Maximierung des Querschnitt Konstruktionen bauen, die höher sind und mehr tragen können. Doch dies würde die gesamte Konstruktion wiederum schwerer machen und mehr Platz beanspruchen. Eine andere auch in der Natur vorkommende Lösung, um dieselben statischen Erfordernisse zu erfüllen, wäre eine Röhre, wie wir sie bei Grashalmen verwirklicht sehen. Doch diese Hohlkammer-Bauweise hat erhebliche Nachteile hinsichtlich Flexibilität und Elastizität. Die sogenannte Doppel-S-Form bildet daher eine optimale Kompromisslösung zwischen mehreren konträren Anforderungen an die Funktionalität dieses Knochens und ist damit ein Beispiel ausgereifter evolutiver Anpassung.

Eine Hinführung der Schüler zu diesem Thema kann verschiedene Wege nehmen. Aus evolutiver Perspektive ist der Übergang der Hominiden zum aufrechten Gang ein möglicher Ansatzpunkt, für den allerdings in Klassenstufe 5 noch nicht die erforderlichen Hintergrundkenntnisse zum Ablauf der Evolution gelegt worden sind. Eine andere Anknüpfungsstelle bietet daher der Lebens- bzw. Schulalltag der Schüler, denn die Schultasche ist in der Regel schwerer als das Kindern dieser Altersstufe zugemutet werden sollte und zudem wird sie häufig falsch getragen, was zu bekannten Haltungsschäden führen kann.

<sup>1</sup> Lehrplan für Gymnasien mit achtjährigem Bildungsgang, Hessisches Kultusministerium 2005

## **2.) Erkenntnisgewinnung**

Da mit einem Modell experimentiert werden soll, ist zunächst einmal Kreativität gefragt. Gleichzeitig muss aber stets die Übertragbarkeit des Modells gewährleistet sein bzw. thematisiert werden. Der Schwerpunkt des Erkenntnisprozesses liegt in diesem Fall sicherlich mehr auf dem selbstständigen Vermuten, Erkunden und Prüfen, weniger auf dem genauen Messen und Mathematisieren.

Am Anfang solcher Stunden sollte im Sinne eines handlungsorientierten Unterrichtsansatzes eine problemorientierte Fragestellung stehen. Diese ergibt sich zwangsläufig aus der Aufgabe, mehrere oder gar konträre Anforderungen an eine Konstruktion miteinander zu vereinbaren.

Eine daran gekoppelte didaktische Entscheidung betrifft die Offenheit des Unterrichtseinstiegs. Gebe ich durch die Auswahl der zur Verfügung stehenden Informationen bzw. Materialien eine bestimmte Richtung vor oder lasse ich die Schüler im Sinne des offenen Experimentierens bzw. der Exploration sogar selbst die Fragestellungen entwickeln?

Solche didaktischen Überlegungen müssen sich sicherlich auch am Leistungsvermögen und den Vorkenntnissen der Gruppe, den örtlichen und zeitlichen Rahmenbedingungen orientieren und können nicht pauschal vorgegeben werden. Im Folgenden soll daher ein möglicher Unterrichtsverlauf vorgestellt werden, in dessen Zentrum das selbstständige Experimentieren steht, der aber in allen Bereichen entsprechend abgewandelt werden kann.

## **3.) Unterrichtsmethodik**

Es bietet sich an, mit dieser Stunde die Unterrichtsreihe zum Thema „Körperhaltung und Bewegung“ zu beginnen, ohne dass die Schüler bereits über das Skelett und seine Bestandteile noch über das Thema als solches informiert wurden. Denn dann kann man zunächst einmal in die Rolle eines Architekten bzw. Statikers schlüpfen, der eine bestimmte Konstruktionsaufgabe lösen soll. Der Transfer zum biologischen System wird dann erst nachträglich durch die Frage hergestellt: „Welche Rolle spielt diese Konstruktion in der Natur?“ Diese Vorgehensweise würde einem sehr offenen Experimentieren entgegenkommen.

Will man jedoch an bereits vermittelte Unterrichtsinhalte anknüpfen oder den Unterricht stringenter gestalten, kommt man nicht umhin, den Bezug zum menschlichen Skelett herzustellen. Man muss dann allerdings davon ausgehen, dass die Schüler bereits eine Vorstellung des Baus der Wirbelsäule mitbringen, die jedoch meistens von einer einfachen S-Form ausgeht.

Beim offenen Experimentieren bzw. explorativen Arbeiten würde man den Schülern sehr verschiedene Baumaterialien aus Holz, Metall, Kunststoff in verschiedenen Stärken und Längen zur Verfügung stellen. In der hier vorgestellten Unterrichtsstunde werden folgende Materialien vorgegeben: Die Schüler erhalten jeweils drei Drähte

gleicher Stärke und gleicher Länge, ein Stativ (Holzbasis mit vorgebohrten Löchern für die Drähte) sowie unterschiedliche Gewichte.

Ihre Aufgabe lautet: „Baue eine Konstruktion, die gleichzeitig möglichst hoch ist und möglichst viel Gewicht trägt!“ Die Konstruktion soll nur aus einem Draht entstehen. Die zwei anderen Drähte dienen dazu, verschiedene Konstruktionen miteinander zu vergleichen. Gegebenenfalls biegt man vorab an das eine Ende des Drahtes eine Öse, um das Gewicht zu befestigen (vgl. Abb. 1).

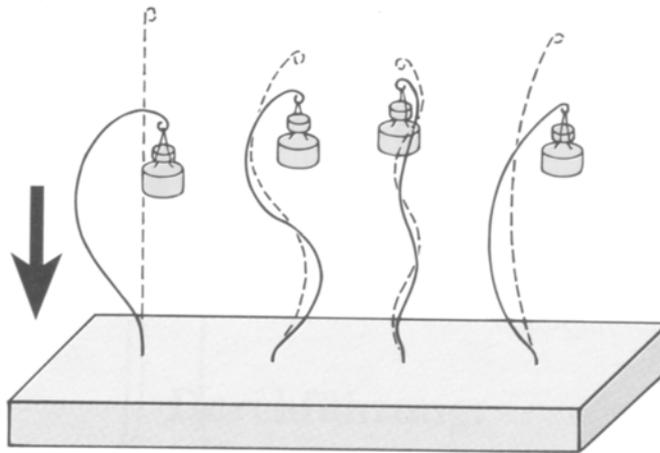


Abb. 2: Mögliche Konstruktionsvarianten

Die Stunde kann auch einen Wettbewerbscharakter erhalten, indem man auf die beste Lösung einen Preis aussetzt und eine Bearbeitungszeit (ca. 15 min) vorgibt. Alternativ kann man den Schülern auch Drähte mit verschiedenen Durchmessern zur Verfügung stellen. Die Schüler werden dann natürlich zu dem Draht mit dem größeren Querschnitt greifen. Problematisiert man jedoch den Aspekt des größeren Eigengewichts, kann man interessante Fragestellungen überprüfen lassen: Wie hoch ist eine starke Konstruktion mit größerem Querschnitt im Vergleich zu einer gebogenen, wenn man das Eigengewicht konstant hält? Der Einsatz eines dünneren Drahtes bietet auch die Möglichkeit der Binnendifferenzierung. Diejenigen Schüler, die schnell zu einer Lösung gelangen, könnten damit beauftragt werden, mit einem dünneren Draht dieselben Anforderungen zu erfüllen.

Als Lösungsmöglichkeiten werden von der geraden über die einfache S-Form bis zur mehrfachen S-Form verschiedenste Ergebnisse präsentiert werden, unter Umständen auch kuriose Formen wie Spiralen. Daran lassen sich immer wieder Fragestellungen anknüpfen, die die anderen Anforderungen im biologischen System nach Raumbedarf, Flexibilität, Elastizität, etc. berücksichtigen sollten.

Hinsichtlich der Sozialform bietet sich auf jeden Fall das Arbeiten in Kleingruppen (2 - 4 Personen) an, sodass die Schüler ihre eigenen Ideen und Hypothesen stets vor den anderen Gruppenmitgliedern darstellen, unter Umständen verteidigen und gegebenenfalls auch

	<p>revidieren müssen. Grundsätzlich erscheint es sinnvoll nach einer Phase freien Experimentierens die Zwischenergebnisse vorstellen zu lassen, sodass zum einen die Gruppen sich gegenseitig anregen, zum anderen neue Denkanstöße von Seiten des Lehrers eingeführt werden können.</p>
	<p><b>4.) <u>Praxiserfahrungen</u></b></p> <p>In einigen Schulbüchern sind Abbildungen des Modells mit möglichen Varianten enthalten. Es besteht die Gefahr, den Schülern durch diese Abbildungen im Schulbuch oder durch mündliche Kommentare des Lehrers zu viel vorzugeben. Da das Modell aber relativ einfach ist und Schüler damit selbstständig arbeiten können, sollte dies unbedingt vermieden und die Schüler nur schrittweise unterstützt werden. Die Erstellung eines Arbeitsblattes mit einer Anleitung erscheint aus diesem Grund auch eher hinderlich. Man muss allerdings damit rechnen, dass ein paar eifrige Schüler bereits im Schulbuch geblättert haben. Wenn das erkennbar ist, dann sollte man eventuell aus diesen Schülern eine „Expertengruppe“ rekrutieren, die sich mit speziellen und weiterführenden Fragestellungen beschäftigt.</p> <p>Je nach Vor- und Nachbereitung des eigentlichen Modellexperiments wird man zwei bis drei Schulstunden für das Thema benötigen.</p> <p>Statt den Gewichten von einer Balkenwaage können auch kleine Plastikbeutel oder -becher mit Glaskugeln oder Cent-Stücken eingesetzt werden. Als Draht bietet sich kunststoffummantelter Blumendraht mit einer Stärke von ca. 1 bis 2 mm an, aber auch dünnerer Draht kann je nach Material Verwendung finden. Das Stativ fertigt man am besten aus einem Buche-Holzblock (ca. 10 x 20 x 4 cm), in den man vorher drei bis vier Löcher mit entsprechendem Durchmesser gebohrt hat.</p>

<p><b>Quellenangaben</b></p>	<p>Bios. Gymnasium Baden-Württemberg, hg. v. Manfred Keil, Diesterweg: Frankfurt 1998</p> <p>Abb.1: Heiko Reeg</p> <p>Abb.2: Bios. 5/6 Gymnasium Baden-Württemberg, hg. v. Manfred Keil, Diesterweg: Frankfurt 1998</p>
------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p><b>Anlagen</b></p>	<p>2 Arbeitsblätter (Alternativen)</p>
-----------------------	----------------------------------------