



## Unterrichtsmaterial

### Unterrichtsvorschlag

Einführung	Die Lehrperson führt in die Arbeit ein. Mögliche Themen: Messfehler, Zeichnen des Funktionsgraphen/ Ausgleichskurven → Literatur, ggf. physikalischer Hintergrund
Stationen	Die Experimente werden in Stationen angeboten und sollten selbstständig und eigenverantwortlich durchgeführt werden (z.B. Anregung durch Arbeitsblätter). 
Abschluss im Klassenverband	Jede Gruppe präsentiert ihre Ergebnisse aus der Arbeit an einer Station.

### Benötigtes Material und Experimente (siehe folgende Seiten)


**Station 1:**  
**Experiment *Elektroauto***

Abhängige Größen	Strecke und Zeit	
Zusammenhang	Linear/ proportional	
Material	Auto mit elektrischem Antrieb, Maßband (mindestens 2 m), Stoppuhren	
Durchführung	Es werden die Zeiten für bestimmte Fahrstrecken des Wagens gemessen.	
Fächerübergreifender Hintergrund	<p>Der Wagen bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit auf gerader Strecke. Diese geradlinig gleichförmige Bewegung hat folgende Eigenschaft: In gleichen Zeiten werden gleiche Strecken zurückgelegt, das heißt Fahrstrecke <math>s</math> und Zeit <math>t</math> sind proportional zueinander: <math>\frac{s}{t} = \text{konst.}</math> Die Konstante beschreibt die hier unveränderte Größe, die Geschwindigkeit <math>v</math> (velocity). Die Einheit für die Geschwindigkeit ist <math>\frac{\text{m}}{\text{s}}</math>, <math>\frac{\text{Meter}}{\text{Sekunde}}</math>.</p>	
Realitätsbezug	Autofahrt	

### Station 2: Experiment *Autorennen*

Abhängige Größen	Strecke und Zeit
Zusammenhang	Quadratisch
Material	Leichtläufiger Wagen (50 g Eigengewicht, plus 200 g Gewichtstücke zum Beladen) mit Stift, an dem Faden mit Massestück (25 g) zur Beschleunigung befestigt ist. Faden läuft über Rad. Schiene (mindestens 1,5 m - falls vorhanden), Maßband, Stoppuhren
	
Durchführung	Der Wagen fährt – durch das fallende Massestück gleichmäßig beschleunigt. Es werden die Zeiten für bestimmte Strecken gestoppt.
Fächerübergreifender Hintergrund	Der Wagen bewegt sich gleichmäßig beschleunigt auf der Fahrbahn. Die Beschleunigung wird durch die Gewichtskraft erreicht, die auf das am Faden hängende Massestück wirkt. Das Massestück wird dadurch Richtung Erde beschleunigt und damit auch der Wagen, der an dem Faden hängt. Diese gleichmäßig beschleunigte Bewegung hat folgende Eigenschaft: $s \sim t^2 \quad \text{also} \quad \frac{s}{t^2} = \text{konst.}$ Die Konstante entspricht der halben Beschleunigung $a$ gemessen in $\text{m/s}^2$ . Es gilt: $s = \frac{1}{2}at^2$ (Weg-Zeit-Gesetz der beschleunigten Bewegung)
Realitätsbezug	Beschleunigte Fahrten, Autofahrt, Autorennen

**Station 3:**  
**Experiment *Fallbewegung***

Abhängige Größen	Strecke und Fallzeit	
Zusammenhang	Quadratisch	
Material	Ball (Tennisball oder Jonglierball), Maßband, Stoppuhren, Treppenhaus oder Gebäude mit verschiedenen Stockwerken, wo der Ball innen oder außen fallen gelassen werden kann und die Fallstrecken messbar sind.	
Durchführung	Zunächst sind verschiedene Positionen festzulegen, an denen der Ball fallen gelassen werden soll. Die entsprechenden Fallstrecken werden mit dem Maßband gemessen. Anschließend wird der Ball an diesen Stellen fallen gelassen und die jeweils die Fallzeiten gemessen.	
Fächerübergreifender Hintergrund	<p>Auf der Erde bewegt sich ein fallender Gegenstand gleichmäßig beschleunigt mit einer Beschleunigung von <math>g = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}</math> (Erdbeschleunigung in Mitteleuropa, unter Vernachlässigung des Luftwiderstands). Diese gleichmäßig beschleunigte Bewegung hat folgende Eigenschaft: <math>s \sim t^2</math> also <math>\frac{s}{t^2} = \text{konst.}</math> Die Konstante entspricht der halben Erdbeschleunigung <math>g</math>.</p> <p>Es gilt: <math>s = \frac{1}{2}gt^2</math> (Weg-Zeit-Gesetz der Fallbewegung)</p>	
Realitätsbezug	„Freefall-tower“ in Erlebnisparks, fallende Gegenstände im Alltag.	

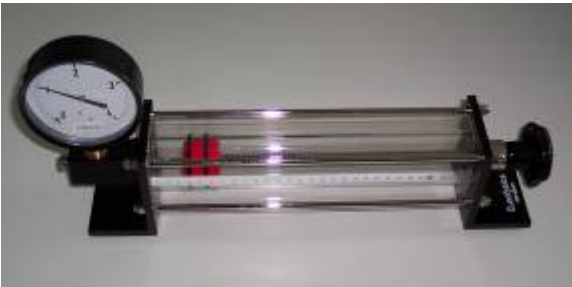
**Station 4: Experiment *Drehbewegung***

Abhängige Größen	Winkelgeschwindigkeit und Zentripetalkraft	
Zusammenhang	quadratisch	
Material	<p>Elektromotor mit Antrieb,                  drehbare Fahrbahn (die auf dem Elektromotor drehbar montiert wird),                  Kraftmesser (bis ca. 0,5 N),                  Wagen, der frei auf der Fahrbahn fährt und mit dem Kraftmesser verbunden ist.</p> <p>Zu beachten ist, dass Masse und Abstand zur Drehachse konstant gehalten werden müssen, so dass die Zentripetalkraft also immer an derselben Stellung des Wagens abgelesen werden muss*.</p>	 <p>Zusatz:                  *Dies kann ggf. durch ein optisches oder akustisches Signal deutlich gemacht werden.</p> 
Durchführung	<p>Durch das Einschalten des Elektromotors rotiert der Dreharm. Durch die Zentripetalkraft wird der Wagen auf dem Dreharm nach außen bewegt. An dem vordefinierten Punkt wird die Zentripetalkraft für bestimmte Winkelgeschwindigkeiten am Kraftmesser abgelesen.</p> <p>Dabei entspricht die <i>Winkelgeschwindigkeit</i> der Geschwindigkeit, mit der der Elektromotor den montierten Dreharm rotieren lässt, und die <i>Zentripetalkraft</i> ergibt sich über die Auslenkung des Federkraftmessers (bewirkt durch die Bewegung des Wagens auf dem Dreharm; auf Grund der Zentripetalkraft bewegt sich der Wagen nach außen)</p>	


<p>Fächerübergreifender Hintergrund</p>	<p>Durch die Rotation wird der Wagen auf eine Kreisbahn geführt. Auf den Wagen (als kreisende Punktmasse) wirkt eine senkrecht zur Bewegungsrichtung gerichtete Kraft. Würde diese Kraft nicht mehr wirken, würde der Wagen (theoretisch) geradeaus davon fliegen.          Die Kreisbewegung ist gleichförmig, d.h. in gleichen Zeiten <math>\Delta t</math> werden gleiche Winkel <math>\Delta\varphi</math> überstrichen:          Die Winkelgeschwindigkeit <math>\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}</math> ist konstant. Der Wagen bewegt sich allerdings beschleunigt, da sich die Richtung des Geschwindigkeitsvektors ständig ändert. Die Zentripetalbeschleunigung ist <math>\omega^2 \cdot r</math> (r ist der Abstand von der Drehachse). Die wirkende Kraft ist also: <math>F_z = m\omega^2 r</math>.</p>
<p>Realitätsbezug</p>	<p>Rotationsbewegungen, zum Beispiel von Fahrgeschäften in Erlebnisparks und auf Jahrmärkten</p>

(zu: *Experiment Drehbewegung*)

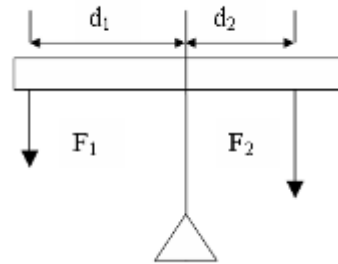
**Station 5: Experiment *Druck***

Abhängige Größen	Druck und Volumen eines Gases	
Zusammenhang	Umgekehrt proportional	
Material	<p>ein Boyle-Mariotte-Gerät, also ein gasgefülltes Glasrohr. Durch das Hineinschieben des Stempels (mit Drehknopf am Ende) kann das Volumen des Gases verkleinert werden (an einer Messskala ablesbar). Die Druckänderung wird direkt am integrierten Manometer angezeigt. Ggf. eine Fahrradpumpe zum Einstieg (vgl. unten).</p>	
Durchführung	Das Volumen wird durch Einschieben des Stempels verändert und der entsprechende Druck jeweils am Manometer abgelesen.	
Fächerübergreifender Hintergrund	<p>Bei einem idealen Gas verhalten sich Druck und Volumen antiproportional zueinander: <math>pV = \text{konstant}</math>          (Unter Normalbedingungen wird dies am besten von <math>H_2</math> und He erfüllt. Das „normale“ Gas sollte nicht zu dicht und nicht zu kalt sein.) Die Konstante hängt bei gegebener Temperatur nur von der Anzahl der Moleküle ab, die das Gasvolumen enthält. Dieses Gesetz heißt nach ihren Entdeckern Boyle-Mariotte-Gesetz (Robert Boyle: englischer Physiker und Chemiker 1627-1691, Edme Mariotte: französischer Physiker 1620-1648)          Es lässt sich gut selbst erfahren, wenn man eine geschlossene Fahrradpumpe zusammenschiebt (Volumen verkleinert sich und der Gegendruck nimmt zu).</p>	
Realitätsbezug	Druck- und Volumenveränderungen von Gasen, geschlossene Fahrradpumpe	

**Station 6: Experiment *Hebel 2***

Abhängige Größen	Kraft und Kraftarm	
Zusammenhang	Umgekehrt proportional	
Material	Stativ mit Hebelstange (Länge 0,5 m), Kraftmesser (max. Kraft 10 N), Anhängelast (ca. 100 g, zum Beispiel ein Stein)	
Durchführung	<p>Die Last (Stein) wird an die Hebelstange in einem festen Abstand zur Achse gehängt, an der sie die gesamte Versuchsdurchführung bleibt (Last und Lastarm sind also konstant). Der Kraftmesser wird auf der andere Seite der Drehachse eingehängt und der Hebel im Gleichgewicht gehalten. Der Kraftarm, also der Abstand zwischen Drehachse des Hebels und Kraftmesser, wird verändert, indem der Kraftmesser jeweils an unterschiedlichen Stellen der Hebelstange eingehängt wird. Die Kraft, die benötigt wird, um den Hebel im Gleichgewicht zu halten, wird in Abhängigkeit vom Kraftarm gemessen.</p>	
Fächerübergreifender Hintergrund	<p>Einen Hebel kann man sich vereinfacht als Balken mit Drehachse vorstellen. Auf beiden Seiten der Drehachse können Kräfte angreifen. Der Abstand <math>d</math> zwischen Drehachse und Kraft <math>F</math> heißt Hebelarm (gemäß Abbildung).</p>	





Anmerkung: Wird zwischen *Kraft* auf der einen Seite und *Last* auf der anderen Seite unterschieden, spricht man von Kraftarm und Lastarm.

Ein Hebel ist genau dann im Gleichgewicht, wenn die Produkte aus Betrag der Kraft und Hebelarm auf beiden Seiten der Drehachse gleich sind.

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2 \quad (\text{bzw.: Kraft mal Kraftarm} = \text{Last mal Lastarm})$$

Aus der Gleichgewichtsbedingung lassen sich folgende funktionale Zusammenhänge ableiten:

*Proportionalität* zwischen Kraft und Lastarm  $\frac{F_1}{d_2} = \text{konst.}$  (Kraftarm und Last sind konstant)


*Antiproportionalität* zwischen Kraft und Kraftarm  $F_1 \cdot d_1 = \text{konst.}$

Eine konstante Last  $F_2$  wird in festem Abstand  $d_2$  am Hebel befestigt.

Realitätsbezug	Wippe auf dem Spielplatz, Hebel bei Kran, Zange, Fahrrad usw. Transport von schweren Gegenständen, „Charlottenburger“ und „Strenz“ (Säckchen und Wanderstock) der Wandergesellen.
----------------	--

(zu: Experiment Hebel 2)

**Station 7: Experiment *Tunnel***

Abhängige Größen	Abstand Lichtquelle und Beleuchtungsstärke	
Zusammenhang	„weitere“ quadratische Abnahme	
Material	Beleuchtungsstärkemessgerät (Lux-Meter), verschiedene Pappröhren gleichen Durchmessers, Fenster mit Tageslicht (Ort der Fensterscheibe dient als Ort der Lichtquelle)	
Durchführung	Die Pappröhren werden dicht auf die Fensterscheibe gehalten. An die andere Seite wird dicht der Sensor des Lux-Meters gesteckt. Die Beleuchtungsstärke kann direkt auf dem Display abgelesen werden.	
Fächerübergreifender Hintergrund	<p>Eine Lichtquelle (Sonne, Lampe usw.) sendet Licht von bestimmter Lichtstärke (Strahlstärke) aus. Ein Empfänger (Auge, Photodiode usw.) empfindet eine bestimmte Beleuchtungsstärke/ Helligkeit.</p> <p>Mit dem Helligkeitsmessgerät (Lux-Meter) lässt sich die Beleuchtungsstärke in Lux (lx) messen. Luxmeter haben eine ähnliche Hellempfindlichkeit wie das menschliche Auge. Sie messen nicht wie energiereich die Strahlung ist, sondern wie hell die Beleuchtung dem menschlichen Auge erscheint. Dabei er-</p>	

	<p>scheint Licht derselben Energie, aber unterschiedlicher Farbe unterschiedlich hell (vgl. unten). Die Messung erfolgt mit Hilfe von Silizium-Dioden, die in Sperrrichtung geschaltet sind. Bei Lichteinfall fließt Strom, dessen Stärke ein Maß für die Beleuchtungsstärke ist. Unter der Beleuchtungsstärke versteht man das Verhältnis des auf eine Fläche fallenden Lichtstroms zum Flächeninhalt der Fläche. Eine Fläche von 1 m<sup>2</sup>, auf die 1 Watt monochromatisches gelbgrünes Licht (Wellenlänge 550 nm) fällt, wird als Beleuchtungsstärke von 680 lx empfunden, während nur etwa 0,1 lx empfunden werden, wenn das Licht rot (750 nm) ist.</p> <p>Beispiele für Beleuchtungsstärken:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sonniger Sommertag im Freien: ca. 100000 lx</li> <li>- Bedeckter Himmel im Sommer: ca. 20000 lx</li> <li>- Trüber Wintertag: ca. 3000 lx</li> <li>- Gute Arbeitsplatzbeleuchtung: ca. 1000 lx</li> <li>- Gute Straßenbeleuchtung: ca. 40 lx</li> <li>- Vollmondnacht: ca. 0,25 lx</li> </ul> <p>Eine richtige Beleuchtung kann Unfälle vermeiden helfen. Je nach Arbeit werden von den Normgremien 100 bis 250 lx, bei Präzisionsarbeiten mindestens 1000 lx gefordert.</p> <p>Die Beleuchtungsstärke/ Helligkeit hängt auch von der Entfernung der Lichtquelle ab. Die Beleuchtungsstärke nimmt quadratisch mit der Entfernung ab.</p>
Realitätsbezug	Fahrt in einen Tunnel, dessen Ende nicht sichtbar ist; Entfernung von einer Lampe (Straßenlaterne, Schreibtischlampe usw.)

(zu: *Experiment Tunnel*)

The **ScienceMath**-project: **Funktionale Zusammenhänge 2**  
Idee: Astrid Beckmann,  
Pädagogische Hochschule Schwäbisch Gmünd, Deutschland

## **Arbeitsblätter**

Arbeitsblätter zum Selbstgestalten und zu ausgewählten Stationen finden sich in dem E-Book „Experimente zum Funktionsbegriffserwerb“ von Astrid Beckmann, erschienen im Aulis-Verlag, Köln 2006.

Die folgenden Impulse wurden ebenfalls diesem Buch entnommen.

## Impulse zu den Stationen

### Impulse

### Elektroauto



Stell dir vor, du sitzt in diesem Auto und dieses Auto

1. fährt an einer Ampel an.
2. fährt um eine Kurve.
3. fährt lange Zeit auf einer geraden Landstraße.

Beschreibe die unterschiedlichen Bewegungen des Autos.

*Diskutiert dies in der Gruppe.*

#### Allgemeine Aufgabe

Beschreibe den Zusammenhang zwischen Strecke und benötigter Zeit.  
Überprüfe: Bestätigt der Zusammenhang eure obige Vermutung?  
Beschreibe die besonderen Eigenschaften des Zusammenhangs.

### Impulse

### Autorennen

Bei einem Dragster-Rennen wird immer sofort mit Vollgas gefahren. Die Fahrer versuchen eine ebene gerade Strecke schnellstmöglich hinter sich zu lassen.

Welche Bedingungen kann man bei diesem Rennen verändern?

(Überlegt auch am Modell).

Welche Größen hängen voneinander ab?

Wenn ihr eine der Größen ändert, wie – vermutet ihr – ändert sich die andere Größe?



Quelle: [www.pixelquelle.de](http://www.pixelquelle.de) ID34759, Photograph: NeoNow

*Tauscht euch in der Gruppe darüber aus.*

Auf dem Tisch ist die „Dragster-Rennstrecke“ vereinfacht nachgebaut.

Mache dich mit dem Aufbau vertraut:

- Die Rennstrecke ist geradlinig.
  - Das Auto wird über einen Faden mit Anhängengewicht über eine Rolle „angetrieben“.
- Wie funktioniert das?

*Tauscht euch in der Gruppe darüber aus.*

Wenn ihr nun die Streckenlänge ändert, wie ändert sich die benötigte Zeit?

#### Allgemeine Aufgabe

Beschreibe den Zusammenhang zwischen Strecke und benötigter Zeit.  
Überprüfe: Bestätigt der Zusammenhang eure obige Vermutung?  
Beschreibe die besonderen Eigenschaften des Zusammenhangs.

## Impulse

## Fallbewegung

In Erlebnisparks oder auf Jahrmärkten gibt es oft eine besondere Attraktion, den „Freefall Tower“. Es handelt sich dabei um einen schlanken, etwa 50 m hohen Gitterturm, bei dem man sich zunächst in die Höhe ziehen und dann in die Tiefe fallen lässt. Bist du schon einmal damit gefahren? Was war das für ein Gefühl?

Die Fallstrecke bei diesen Türmen kann unterschiedlich lang sein. Worin liegt wohl der Unterschied zwischen einer langen und einer kurzen Fallstrecke?  
Nenne viele Unterschiede.

*Besprecht dies ausführlich in der Gruppe.*



Source: [www.pxelquelle.de](http://www.pxelquelle.de)  
ID99300, fotograf: anjume

Vermute:

Wenn man 20 m in ca. 2 s fällt, wie lange braucht man wohl für 40 m?

Kreuze an: ca. 3 s  ca. 4 s  ca. 5 s

Welchen Zusammenhang vermutest du zwischen Fallstrecke und Fallzeit?

*Tauscht euch in der Gruppe aus.*

### Allgemeine Aufgabe

Beschreibe den Zusammenhang zwischen Fallstrecke und Fallzeit beim freien Fall.  
Überprüfe: Bestätigt der Zusammenhang eure obige Vermutung.  
Beschreibe die besonderen Eigenschaften des Zusammenhangs.

## Impulse

## Drehbewegung

Du kennst sicher Fahrgeschäfte, bei denen du sehr schnell auf einer Kreisbahn bewegt wirst.

Ein Beispiel siehst du in der Abbildung. Meist beginnt die Kreisbewegung langsam und wird dann sehr schnell. Vergleiche die schnelle und die langsame Bewegung.



*Tauscht euch in der Gruppe darüber aus, was ihr jeweils fühlt und wie ihr reagiert.*

Im Experiment ist das Fahrgeschäft vereinfacht nachgebaut. Mache dich mit den Bestandteilen vertraut. Welcher Zusammenhang besteht wohl zwischen Winkelgeschwindigkeit und Zentripetalkraft?

*Erstelle einen Graphen, der den Zusammenhang darstellt.*

### Allgemeine Aufgabe

Beschreibe den Zusammenhang zwischen Winkelgeschwindigkeit und Zentripetalkraft. Überprüfe: Bestätigt der Zusammenhang eure obige Vermutung. Beschreibe die besonderen Eigenschaften des Zusammenhangs.

## Impulse

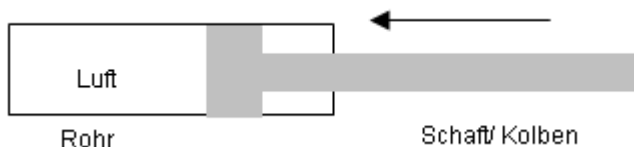
## Druck

Auf dem Tisch liegt eine Fahrradpumpe.



Zieh den Kolben (Schaft, Rohr) heraus. Halte nun die Pumpe zu und pumpe. Was fällt auf?  
*Sprecht in der Gruppe darüber.*

Betrachte das schematische Bild der (geschlossenen) Luftpumpe.



Beschreibe nun genauer: Was passiert beim Hineinschieben des Kolbens? Was ändert sich dabei?

### Allgemeine Aufgabe

Beschreibe den Zusammenhang zwischen Luftvolumen und Luftdruck. Überprüfe: Bestätigt der Zusammenhang eure obige Vermutung. Beschreibe die besonderen Eigenschaften des Zusammenhangs.

## Impulse

## Hebel 2

Auf Spielplätzen gibt es manchmal Wippen. Bestimmt bist du auch schon einmal gewippt. Vielleicht hast du auch schon versucht, mit deinem Wipppartner, die Wippe waagrecht im Gleichgewicht zu halten.

Stell dir vor, dass am Rand zwei Freunde von dir warten und dich abwechseln wollen.

Anton ist schwerer als du, Bert ist leichter als du.

Vermute:

Muss sich Anton näher oder weiter an die Drehachse setzen als du?

Muss sich Bert näher oder weiter an die Drehachse setzen als du?



*Tauscht euch in der Gruppe darüber aus.*

Im Experiment ist die Wippe nachgebaut.

Im folgenden Bild sind die Bestandteile mit Namen bezeichnet.



Du kannst den Kraftmesser so festhalten, dass der Hebel (die Wippe) im Gleichgewicht ist.

Die Kraft, mit der du ziehst, kannst du am Kraftmesser ablesen.  
(Wie geht das?)

Vermute: Musst du mehr oder weniger Kraft aufwenden, wenn du den Kraftmesser näher an den Dreharm hängst?

Musst du mehr oder weniger Kraft aufwenden, wenn du den Kraftmesser weiter weg von der Drehachse hängst?

*Tauscht euch in der Gruppe darüber aus.*

### Allgemeine Aufgabe

Beschreibe den Zusammenhang zwischen Kraft und Kraftarm.

Überprüfe: Bestätigt der Zusammenhang eure Antwort zu obiger Frage?

Beschreibe die besonderen Eigenschaften des Zusammenhangs.



## Impulse

## Tunnel

Stell dir vor, du gehst oder fährst in einen langen Tunnel. Du siehst nicht das andere Ende.



Wie verändert sich die Helligkeit (Beleuchtungsstärke) ohne Berücksichtigung der Fahrzeugbeleuchtung?

*Sprecht in der Gruppe darüber.*

Nimm nun ein Papprohr. Halte es an das Fenster (das Fenster stellt die Lichtquelle dar – Sonnenlicht). Beobachte die Helligkeit.

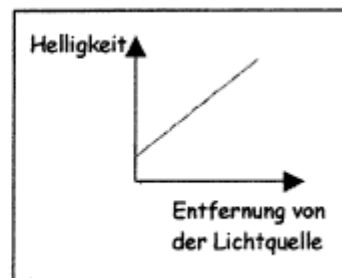
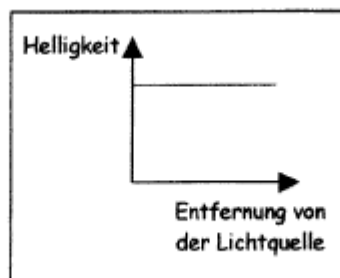
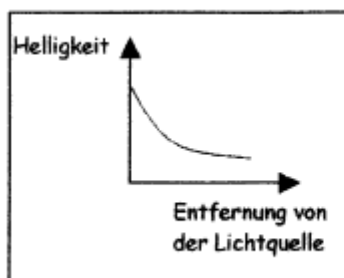
Nimm nun ein Papprohr mit anderer Länge und halte es an das Fenster. Beobachte die Helligkeit.

Vergleiche.

*Sprecht in der Gruppe darüber.*

Welches Diagramm trifft wohl am ehesten zu?

Kreuze an und vergleiche nach Beendigung des Experiments, ob du richtig vermutet hast.



### Allgemeine Aufgabe

Beschreibe den Zusammenhang zwischen dem Abstand von der Lichtquelle und der Beleuchtungsstärke.

Überprüfe: Bestätigt der Zusammenhang eure Antwort zu obiger Frage?

Beschreibe die besonderen Eigenschaften des Zusammenhangs.