

# Lernwerkstatt Rückstoss

## ERLÄUTERUNGEN

### HINWEISE

Das Experiment «Rakete an der Schnur» eignet sich auch als gemeinsames Einstiegsexperiment. Die Rakete weckt das Interesse der Schülerinnen und Schüler an dem Prinzip des Rückstosses und motiviert sie, damit zu experimentieren.

### KUGELWAGEN

#### Hinweis

Die Polystyrolplatten zuschneiden und mit Hitze zu einer U-Form biegen. Die Neigungsstufen für die Kugelschiene in die Halterung bohren und sie durch einen Splint mit der Kugelschiene verbinden. Eine Kerbe für den Auslöser in die Kugelschiene schneiden und den Auslöser sorgfältig hineinstecken. Der Modelleisenbahnwagen hat Vorteile: Durch seine geringe Reibung und die guten Rolleigenschaften sind Änderungen im Experiment besser sichtbar. Als Alternative zum Modelleisenbahnwagen eignet sich der Wagen von Experiment 2.

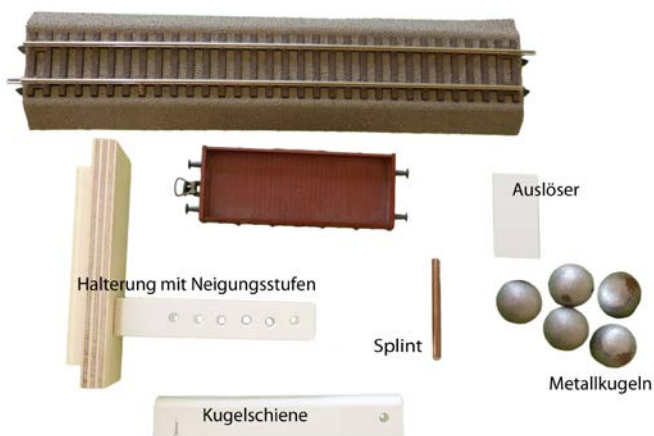


Abb. 249 | Übersicht aller Einzelteile des Kugelwagens

#### Technikverständnis/Lebensweltbezug

Die Wirkung des Rückstosseffekts kommt im Experiment mit dem Kugelwagen sehr schön zur Geltung. Durch die Beschleunigung der Metallkugeln (actio) wird eine Gegenkraft ausgelöst (reactio), die den Kugelwagen in die entgegengesetzte Richtung schiebt. Es gilt folgendes Prinzip: Wirken zwei Körper aufeinander ein, so wirkt auf jeden der beiden Körper eine Kraft. Die Kräfte sind gleich gross und entgegengesetzt ausgerichtet. Das Verhältnis zwischen Kraft und Gegenkraft ist immer gleich. In diesem Beispiel zeigt sich die Kraft durch die Beschleunigung der Metallkugeln und die Gegenkraft durch die Beschleunigung des Kugel-

wagens in die entgegengesetzte Richtung. Wird die Kraft erhöht, z. B. durch den Einsatz mehrerer Kugeln oder durch eine gesteigerte Beschleunigung, erhöht sich auch die Gegenkraft.

### FEDERWAGEN

#### Hinweis

Für die Experimente «Kugel-, Feder- und Ballonwagen» wird der gleiche Wagen benutzt, bestehend aus einer Sperrholzplatte, vier Messinghülsen, zwei Metallachsen, vier Unterlagsscheiben und vier Stufenscheiben. In der Holzplatte fräst die Lehrperson mit einer Kreissäge zwei parallele Nuten, in die je zwei Messinghülsen geklebt werden. Die Achse noch bei frischem Leim in die Messinghülsen einführen und ausrichten; so entstehen keine Reibungsstellen. Anschliessend die Unterlagsscheiben und Stufenscheiben anbringen.

Die Experimente können auch auf ein bereits vorhandenes Fahrzeug (vgl. Experiment «Kugelwagen») angewendet werden.



Abb. 250 | Beispiel einer Bauweise für Achsen

Im Versuch die Feder mit einem Faden spannen und die Holzgewichte dahinter platzieren. Den Faden sorgfältig mit einer Schere durchtrennen. Es gibt zwei Grössen von Holzgewichten, wobei das kleine Gewicht genau der Hälfte des grossen entspricht. Das ermöglicht das Halbieren oder Verdoppeln der Gewichte, und die Resultate können besser miteinander verglichen werden.

#### Technikverständnis/Lebensweltbezug

Die Gewichte aus Holz werden durch die Kraft der Feder vom Wagen gestossen. Die Gegenkraft schiebt den Federwagen in die entgegengesetzte Richtung. Weil Kraft und Gegenkraft prinzipiell gleich gross sind, ist das Gewicht der beiden Objekte ausschlag-

gebend. Wird das Holzgewicht im Verhältnis zum Federwagen verringert, reduziert sich der Schub auf den Wagen.

### BALLONWAGEN

#### Hinweis

Die Herstellung des Wagens erfolgt wie beim Federwagen. In die Polystyrolplatte drei Löcher (z. B. 10, 8 und 6 mm) bohren. Den Ballon durch das Loch stecken und direkt an der Platte aufblasen.

#### Technikverständnis/Lebensweltbezug

Die Wirkung, die ein aufgeblasener Ballon beim Loslassen erzeugt, ist den Kindern bekannt. Die komprimierte Luft fährt mit hoher Geschwindigkeit aus dem Ballon und treibt ihn in die entgegengesetzte Richtung. Beim Experiment mit dem Ballonwagen wird der Luftausstoss gezielt in eine Richtung geleitet und somit das Fahrzeug kontrolliert angetrieben. Die Veränderung der Düsenöffnung beeinflusst die Schubkraft. So kann bei einer kleinen Düsenöffnung die Schubdauer verlängert werden. Bei einer grossen Düsenöffnung verhält es sich umgekehrt. Für einen effizienten Antrieb muss das Verhältnis zwischen Schubkraft und Schubdauer je nach Gewicht und Rollwiderstand optimiert werden.

### SEGNERSCHES WASSERRAD

#### Hinweise

Herstellung gemäss Abbildungen und Beschreibung (Lehrwerkstatt Rückstoss → Heft). Die Ahle eignet sich dazu, die Löcher in den Becher zu stechen.

#### Technikverständnis/Lebensweltbezug

1750 entwarf der Physiker Johann Andreas von Segner das nach ihm benannte Wasserrad. Bereits damals wurde es für die Gewinnung von Wasserkraft eingesetzt. Mit der Zeit tauchten effizientere Erfindungen wie Turbinen auf und verdrängten das Segnersche Wasserrad.

Das Wasser wird mit Druck aus den beiden Düsen gepresst und bringt aufgrund des Prinzips, dass Kraft und Gegenkraft gleich sind, den Becher zum Drehen. Je mehr Druck erzeugt wird, desto grösser ist der Schub und somit die Drehgeschwindigkeit des Bechers. Das Segnersche Wasserrad ist mit dem Ballonwagen vergleichbar. Hier strömt statt Luft Wasser aus den Düsen. Durch technische Veränderungen könnte der Ballonwagen also gut auch mit Wasser und das Segnersche Wasserrad mit Luft angetrieben werden.

Noch heute wird das Prinzip des segnerschen Wasserrads in alltäglichen Anwendungen gebraucht. So drehen sich die Sprüharme in einer Spülmaschine

nur wegen der Rückstosskraft des Wassers. Ähnlich funktionieren auch einige Rasensprenger.

### GEWICHTSMOBIL

#### Hinweise

Die Konstruktion der vorderen Achse erfolgt wie beim Federwagen. Die Welle hinten ist mit dem Federwerkmotor, der auf dem Gefährt befestigt wird, und zwei Holzrädern mit gemittetem Loch (Durchmesser 4 mm) verbunden.

Eine Erweiterung des Experiments mit dem Gewichtsmobil ist die Veränderung der Oberflächenstruktur und des Gewichts des Bretts. So könnte das Brett z. B. mit Schleifpapier überzogen werden, damit der Grip für das Gewichtsmobil besser ist.

#### Technikverständnis/Lebensweltbezug

Das Experiment mit dem Gewichtsmobil zeigt den Schülerinnen und Schülern das Verhältnis zwischen dem Gefährt und dessen Untergrund auf. Hier ist, angesichts des Prinzips, dass Kraft und Gegenkraft gleich sind, das Gewicht von grosser Bedeutung. Fährt das Gewichtsmobil los, wirkt eine Gegenkraft in die entgegengesetzte Richtung auf das Brett. Je nach Verteilung des Gewichts (z. B. schweres Gewichtsmobil, leichtes Brett) zeigt sich die Kraft (Gewichtsmobil) und die Gegenkraft (Brett) anders. Eine weitere Bedeutung für das Experiment kann der Grip des Bretts haben, wobei die Unterschiede bei dieser Grösse des Experiments gering sind.

Diese Kräfte wirken auch bei den Fahrzeugen im Alltag und können beispielsweise beim Anfahren eines Autos beobachtet werden. Für die Beschleunigung spielt der Untergrund eine wichtige Rolle. Fährt ein Auto auf Kies zu schnell an, wird die Gegenkraft durch das Wegfliegen der Kieselsteinchen deutlich. Die Beschleunigung wird dadurch minimiert. Auf der Strasse wirken die gleichen Kräfte. Dort ist die Masse und das Gewicht des Strassenmaterials so gross, dass für Fahrzeuge eine optimale Beschleunigung stattfindet und die Gegenkraft nicht mehr sichtbar ist. Bei zu hoher Beschleunigung drehen die Reifen durch und nutzen sich ab.

## ZÜNDHOLZRAKETE

Herstellung:



Abb. 251 | Hergang zur Herstellung der Zündholzrakete

### Hinweise

- Ein Alufolienstück (ca. 6 × 6 cm) in der Mitte falten.
- Das Zündholz auf die Alufolie legen und sie erneut in der Mitte falten.
- Die Alufolie um das Zündholz rollen. Um das Zündholz herum einen Freiraum lassen, damit das Feuer nach hinten entweichen kann.

Die Laufbahn der Zündholzraketen kann nicht genau bestimmt werden, deshalb ist ein sicherer Abstand wichtig. Die Schülerinnen und Schüler stellen eine geeignete Startrampe her. Dazu eignet sich Gitterdraht. Die Startrampe wird so angefertigt, dass ein Teelicht unter der Zündholzrakete positioniert werden kann.

### Technikverständnis/Lebensweltbezug

Das Zündholz wird durch die Hitze des Teelichts entzündet. Das Feuer wird über die Alufolie nach hinten geleitet und erzeugt den Schub. Das Prinzip ist gleich wie bei einer Feuerwerks- oder einer Trägerrakete, bei denen der Schub durch das Verbrennen von Brennstoffen erzeugt und in eine Richtung geleitet wird.

## RAKETE AN DER SCHNUR

### Hinweise

Die Rakete besteht aus einer 0,5-l-PET-Flasche und einem einfachen Zapfen. Der Zapfen wird mit einem Alurohr (Durchmesser 8 mm) und Klebeband hergestellt. Dabei wird das Klebeband an der gleichen Stelle um das Alurohr gewickelt. Die Dicke des Zapfens muss genau mit der Grösse der Flaschenöffnung übereinstimmen. Dann das Leitrohr auf der Flasche befestigen und die Schnur hindurchziehen. Die Schnur spannen und die Pumpe am Rohr festmachen.



Abb. 252 | Der Zapfen und eine Standpumpe mit Druckanzeige

Wird der Zapfen mit viel Kraft in die Flaschenöffnung gedrückt, erhöht sich der Druck, den es braucht, um die Rakete zu starten. Mit etwas Übung kann so die Reichweite der Rakete geplant werden. Markierungen auf dem Zapfen ermöglichen es, den gewünschten Druck zu wiederholen. Es wird empfohlen, den Druck langsam zu steigern.



Abb. 253 | Gummizapfen mit Fahrradventil als Alternative zum Zapfen aus Alurohr und Klebeband

In den Gummizapfen (18 × 23 × 25 mm) ein Loch bohren (Durchmesser = Fahrradventil). Zapfen sind erhältlich in landwirtschaftlichen Genossenschaften, Lebensmittelgeschäften und bei Anbietern für Laborbedarf; Ventil aus defekten Fahrradpneus ausschneiden.

### Technikverständnis/Lebensweltbezug

Die Rakete an der Schnur ist aus technischer Sicht eine Erweiterung des Ballonwagens. Im Vergleich zum Ballon bietet die PET-Flasche eine festere Hülle. Deshalb kann mehr Luft in die Flasche gepresst werden. Mit dem Druck steigt auch die Schubkraft. Bei zu hohem Druck (etwa 8 bar) können PET-Flaschen explodieren. Daher ist bei Experimenten mit höherem Druck Vorsicht geboten. Empfohlen werden ausschliesslich Pumpen mit Druckanzeige. Pumpen mit einem langen Schlauch sind sicherer.

**PET-RAKETE****Hinweise**

Als Rakete eignen sich PET-Flaschen zwischen 0,5 und 1,5 l. Für einen stabileren Flug wird die Flasche mit einer Spitze und drei bis vier Finnen ausgestattet. Als Spitze kann z. B. ein Tennisball auf die Flasche geklebt werden. Dieser verleiht der PET-Rakete eine gute Balance für den Flug.



Abb. 254 | Beispiel einer PET-Rakete mit Spitze, Finnen und Gummizapfen

Die Flasche bis zu einem Drittel mit Wasser auffüllen und mit dem Startzapfen auf die Pumpe stecken. Die effizienteste Wassermenge durch Experimentieren ermitteln. Die PET-Rakete muss auf einer Startrampe gestartet werden, damit die Flugrichtung besser bestimmt werden kann. Grundsätzlich reicht auch ein 4-mm-Schweisstab.

**Technikverständnis/Lebensweltbezug**

Das Wasser braucht im Unterschied zur Luft wegen seiner wesentlich höheren Masse mehr Zeit, um durch die Flaschenöffnung zu gelangen, was eine längere Beschleunigungsphase bedingt.

Unter Prof. Dr. Lino Guzzella vom Department of Mechanical and Process Engineering an der ETH Zürich haben Studentinnen und Studenten den Flug einer PET-Rakete studiert und ihn in folgende drei Phasen aufgeteilt:<sup>1</sup>

1. Die Wasserauftriebsphase: Durch das ausströmende Wasser erfährt die Rakete einen Auftrieb.
2. Die Luftauftriebsphase: Nachdem das ganze Wasser ausgeströmt ist, entsteht in der Flasche durch die expandierte Luft ein Druck- und Temperaturunterschied. Durch den Ausgleich dieser Unterschiede erhält die Rakete einen zusätzlichen Schub.
3. Die reine Flugphase: Durch die Phasen 1 und 2 hat die Rakete ihre Geschwindigkeit erreicht und fliegt nun je nach Aerodynamik wieder Richtung Boden.

40 % Wasser beim Start erwies sich als optimale Füllmenge.