

# Einfache Experimente mit MÜNZEN UND SCHEINEN



David Featonby  
Rute Oliveira

# IMPRESSUM

## Herausgeber

Science on Stage Deutschland e.V.  
Am Borsigturm 15  
13507 Berlin

## Autor\*innen

David Featonby (UK, Science on Stage Europe),  
Rute Oliveira (Portugal, Nobel Algarve British  
International School)

## Übersetzung

Science on Stage Deutschland e.V.  
mit freundlicher Unterstützung von:  
Peter Batzer, Petra Carbon, Waltraud Habelitz-  
Tkotz, Peter Meiss, Solveg Schlinske, Petra  
Wlotzka, Wolfgang Zeitter

## Veröffentlichung

Oktober 2026

## Design

WEBERSUPIRAN.berlin

## Illustration

Arnaud Braibant

## Text- und Bildnachweise

Die Autor\*innen haben die Rechte für die  
Verwendung von Texten, Bildern und Medien in  
diesem Unterrichtsmaterial nach bestem  
Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer  
Texte verantwortlich.

## Lizenz

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative  
Commons Namensnennung – ShareAlike 4.0  
International Lizenz:

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>



## Über Science on Stage

Science on Stage Deutschland e.V. ist Teil von Science on Stage Europe e.V., dem größten europäischen Netzwerk für MINT-Lehrkräfte. Mit Bildungsfestivals, Workshops und Fortbildungen bietet die gemeinnützige Initiative ihnen eine Bühne, um eigene innovative Unterrichtsideen zu präsentieren, sich national wie international auszutauschen und voneinander zu lernen. Ziel ist es, die MINT-Kompetenzen von Schüler\*innen zu stärken und sie für Naturwissenschaften, IT und Ingenieurwesen zu begeistern – ganz nach dem Motto: Auf die Lehrkräfte kommt es an!

Science on Stage besteht seit 2003, erreicht rund 100.000 Lehrkräfte aller Schulformen in 35 Ländern und wird maßgeblich vom Arbeitgeberverband Gesamtmetall gefördert.

Science on Stage bietet Unterrichtsmaterialien, die von europäischen MINT-Lehrkräften für Lehrkräfte entwickelt wurden. Alle Materialien sind kostenfrei, ohne Registrierung und als Open Educational Resources zugänglich:

[www.science-on-stage.de/unterrichtsmaterialien](http://www.science-on-stage.de/unterrichtsmaterialien)



## Kontakt

[www.science-on-stage.de](http://www.science-on-stage.de)  
[info@science-on-stage.de](mailto:info@science-on-stage.de)



# INHALTSVERZEICHNIS

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>SICHERHEITSHINWEIS</b>                               | <b>4</b>  |
| <b>VORWORT</b>                                          | <b>5</b>  |
| <b>1 TRÄGHEIT UND NEWTON</b>                            | <b>6</b>  |
| 1.1 Träge Münzen                                        | 6         |
| 1.2 Der Geldschein unter der Flasche                    | 8         |
| 1.3 Die Trägheits-Challenge                             | 11        |
| 1.4 Bar oder mit Karte?                                 | 13        |
| 1.5 Der Münzenturm                                      | 14        |
| 1.6 Die Münzen auf dem Strohalm                         | 15        |
| <b>2 FREIER FALL</b>                                    | <b>17</b> |
| 2.1 Freier Fall und Reaktion                            | 17        |
| 2.2 Fallen Münzen schneller als $g$ ?                   | 19        |
| 2.3 Münze oder Feder?                                   | 21        |
| 2.4 Der Münzraub                                        | 22        |
| <b>3 CHEMIE</b>                                         | <b>23</b> |
| 3.1 Die magische Lösung                                 | 23        |
| 3.2 Die Münzbatterie                                    | 25        |
| <b>4 OBERFLÄCHENSpannung</b>                            | <b>28</b> |
| 4.1 Die Oberflächenspannungs-Challenge                  | 28        |
| 4.2 Die Spannung unter der Bankkarte                    | 30        |
| 4.3 Die Münzen im Wasserglas                            | 31        |
| <b>5 ELEKTRIZITÄT UND MAGNETISMUS</b>                   | <b>33</b> |
| 5.1 Die Münze in der Streichholzschachtel               | 33        |
| 5.2 Nicht-magnetische Münzen mit einem Magneten bewegen | 35        |
| 5.3 Induzierter Magnetismus I – Magnetische Skulpturen  | 37        |
| 5.4 Magnetische Mysterien                               | 38        |
| 5.5 Induzierter Magnetismus II – Münzpaare              | 42        |
| 5.6 Die schwimmende Münze                               | 44        |

**6 MATHEMATIK****46**

- 6.1 Die Reise um die Münze 46
- 6.2 Masse und Volumen – Bestimmung der Dichte der Münze 48
- 6.3 Glück im Spiel? – Untersuchung von Münzwürfen 49

**VERSCHIEDENE EXPERIMENTE****53**

- 6.4 Der balancierende Geldschein 53
- 6.5 Der Geldschein und die springenden Büroklammern 55
- 6.6 Die Murmel und die Münze 56
- 6.7 Die Münze auf dem Streichholz 59
- 6.8 Der Flaschengeist 59
- 6.9 Die verschwindende Münze 61
- 6.10 Die Drei-Münzen-Challenge 62
- 6.11 Eigenschaften von Münzen verschiedener Währungen 63
- 6.12 Falschgeld mit UV-Licht erkennen 65
- 6.13 Einen Geldschein auf den Kopf stellen 67
- 6.14 Die springende Münze – mit der Kraft der Luft 68
- 6.15 Lichtbeugung mit einem kanadischen Geldschein 70

## SICHERHEITSHINWEIS

Dieses Material enthält Aktivitäten mit Lasern, UV-Licht, Magneten und Münzen. Beim Umgang mit diesen Materialien ist stets Vorsicht geboten. Richten Sie niemals einen Laser auf die Augen von Personen, da dies schwere Verletzungen verursachen kann. Bewahren Sie alle kleinen Gegenstände wie Münzen und Magnete außerhalb der Reichweite kleiner Kinder auf, da ein Risiko des Verschluckens oder Erstickens besteht.



Indem Sie eines der beschriebenen Experimente durchführen, übernehmen Sie die volle Verantwortung für Ihre eigene Sicherheit und die Sicherheit anderer. Die Autor\*innen und Science on Stage Deutschland e.V. als Herausgeber dieses Materials können nicht für Unfälle, Verletzungen oder Schäden haftbar gemacht werden, die durch diese Aktivitäten entstehen können.

## VORWORT

Wie können Münzen und Geldscheine im MINT-Unterricht eingesetzt werden, um Themen wie Magnetismus, Materialeigenschaften oder Oberflächenspannung mit einfachen Experimenten zu veranschaulichen?

Diese Sammlung von bekannten Experimenten lädt Lehrkräfte aller Schulformen dazu ein, sie gemeinsam mit ihren Schüler\*innen zu entdecken. Sie enthält kleine, praxisnahe Experimente und Aktivitäten, die einen unkomplizierten Einstieg in verschiedene MINT-Themen ermöglichen. Dabei handelt es sich bewusst nicht um vollständig didaktisch ausgearbeitete Unterrichtseinheiten. **Die Experimente sind vielmehr als Ideen zum Einstieg in ein Unterrichtsthema gedacht.**

Ganz im Sinne von Science on Stage wurden die Experimente von zwei Lehrkräften aus dem europäischen Netzwerk Science on Stage Europe zusammengestellt, die Ideen vom Europäischen Science on Stage Festival 2015 aufgegriffen haben. Ein herzliches Dankeschön gilt den Autor\*innen **Rute Oliveria** (Physik- und Chemielehrerin aus Portugal) und **David Featonby** (Physiklehrer im Ruhestand aus dem Vereinigten Königreich) sowie den Co-Autor\*innen Niloufar Wijetunge (Vereinigtes Königreich), Nuria Muñoz Molina (Spanien), Paul Nugent (Irland) und Kim Christianson (Dänemark).

Die vorliegende deutsche Fassung basiert auf dem englischsprachigen Original „Money Matters – Simple Science Experiments“. Deshalb gilt unser weiterer Dank den ehrenamtlich engagierten Lehrkräften aus unserem Science on Stage Deutschland-Netzwerk: Peter Batzer, Petra Carbon, Waltraud Habelitz-Tkotz, Peter Meiss, Solveg Schlinske, Petra Wlotzka und Wolfgang Zeitter. Sie haben die Übersetzung geprüft und mit ihrer fachlichen und schulpraktischen Expertise unterstützt – ganz nach unserem Motto: **von Lehrkräften für Lehrkräfte.**

Wir wünschen viel Freude beim Ausprobieren und Experimentieren!

Ihr Science on Stage-Team



Rute Oliveira



David Featonby

# 1 TRÄGHEIT UND NEWTON

Newtons Bewegungsgesetze bilden die Grundlage für unser Verständnis mechanischer Bewegungen – ob vorhersehbar oder überraschend. Die folgenden Experimente veranschaulichen das erste seiner Gesetze anhand verschiedener Beispiele.

## 1.1 Träge Münzen

### MINT-Thema

Newtons erstes Bewegungs-, Impuls- und Trägheitsgesetz:

Ohne eine Kraft ändert ein Körper seinen Bewegungszustand nicht.

### Materialien

- 2 identische Münzen
- 2 Gläser (oder Becher)
- 10-Euro-Schein (oder ein Stück Papier)
- optional: eine Glasflasche (für die Erweiterung)
- optional: mehrere Münzen (für die Erweiterung)

### Aufbau

- Stellen Sie zwei Gläser nebeneinander. Der Abstand sollte so groß sein, dass Ihre Hand hochkant dazwischen passt.
- Legen Sie den Geldschein flach über die beiden Gläser, sodass er eine Brücke zwischen den Gläsern bildet. Der Schein sollte nicht straff gespannt sein.
- Legen Sie die Münzen so auf den Schein, dass sie auf den Rändern der Gläser liegen (Bild 1).



Bild 1: Versuchsaufbau mit zwei Gläsern

## Aufgabe

- Entfernen Sie den Geldschein schnell, ohne dass die Münzen in die Gläser hinein- oder herunterfallen.

## Beschreibung – So geht's

- Schlagen Sie den Schein scharf in der Mitte nach unten (Bild 2).
- Dieser gleitet schnell heraus, während die Münzen auf den Glasrändern liegen bleiben (Bild 3).



Bild 2: Den Schein nach unten schlagen



Bild 3: Die Münzen bleiben liegen

## Erklärung und Hintergrund

Nach Newtons erstem Gesetz, dem Trägheitsgesetz, bleibt ein Körper in Ruhe oder bewegt sich gleichförmig weiter, solange keine äußere Kraft seinen Bewegungszustand verändert. Die Eigenschaft eines Körpers, einer Veränderung seines Ruhe- oder Bewegungszustands zu widerstehen, nennt man Trägheit.

Wird der Geldschein schnell weggezogen, bleiben die Münzen aufgrund ihrer Trägheit zunächst an ihrem Platz. Da die Kraft nur für eine sehr kurze Zeit auf die Münzen wirkt, ist der übertragene Impuls gering. So wird der Geldschein unter den Münzen hervorgezogen, während diese nahezu ungestört auf dem Rand der Becher liegen bleiben.

**Hinweis:** Es ist wichtig, dass der Geldschein nach unten geschlagen wird, da eine Bewegung nach oben die Münzen lösen kann.

## Erweiterungen

Idee für eine weiterführende Aktivität:

## Beschreibung – So geht's

Balancieren Sie einige Münzen auf dem Flaschenrand über einem 10-Euro-Schein.

## Aufgabe

Ziehen Sie den Schein weg, sodass die Münzen auf der Flasche liegen bleiben (Bild 4).



Bild 4: Flasche mit Münzen



Bild 5: Entfernen des Scheins

Halten Sie den Geldschein waagerecht in einer Hand. Schlagen Sie anschließend mit der Kante der anderen Hand kräftig und schnell auf den Schein, sodass er nach unten weggezogen wird (Bild 5).

Wichtig ist dabei die Richtung der Bewegung: Der Geldschein muss nach unten weggezogen werden. Eine Bewegung nach oben könnte die Münzen anheben und ihren Stapel dadurch aus dem Gleichgewicht bringen.

## 1.2 Der Geldschein unter der Flasche

### MINT-Thema

Massenmittelpunkt, Reibung, Trägheit und Impuls

### Materialien

- 10-Euro-Schein
- eine Glasflasche
- ein Tisch
- optional: eine zweite Flasche (für die Erweiterung)

### Beschreibung – So geht's

Legen Sie einen 10-Euro-Schein nah an der Kante flach auf einen trockenen Tisch und stellen Sie eine trockene Glasflasche auf dem Kopf auf den Schein (Bild 1).

### Aufgabe

Nehmen Sie den Geldschein heraus, ohne die Flasche zu berühren oder umzuwerfen.

Es gibt zwei verschiedene Lösungen:

### 1) Entfernen Sie den Schein sehr schnell.

Stellen Sie die Flasche nah an den Tischrand, sodass der Geldschein über den Rand hängt. Halten Sie den Schein fast horizontal mit einer Hand knapp unter der Tischfläche und schlagen Sie mit der anderen Hand schnell auf den Schein, um ihn unter der Flasche hervorzuziehen (Bild 1).



Bild 1: Bereit zum Anschlagen



Bild 2: Der hervorgezogene Schein

### Erklärung und Hintergrund

Trägheit ist die Tendenz eines Körpers, in seinem Bewegungszustand (in Ruhe oder Bewegung) zu bleiben, es sei denn, eine äußere Kraft wirkt auf ihn.

Die Flasche steht auf dem Tisch – fast zwischen stabilem und instabilem Gleichgewicht, sodass sie leicht umgekippt werden kann. Wenn der Schein schnell herausgezogen wird, wirkt die auf gewendete Kraft nur auf den Schein.

Zwischen der Flasche und dem Schein entsteht Reibung, wenn der Schein weggezogen wird. In der kurzen Zeit, in der der Schein herausgleitet, ist der Impuls ( $F \cdot t$ ) nicht groß genug, um die Flasche zu bewegen.

Es ist wichtig, dass der Schein nach unten gezogen wird, da bei einer Aufwärtsbewegung die Flasche herunterfällt.

### 2) Entfernen Sie den Schein sehr langsam.

Rollen Sie den Schein auf und schieben Sie mit der Rolle vorsichtig die Flasche vom Geldschein herunter (Bilder 3 bis 5).



Bilder 3 bis 5: Den Geldschein aufrollen, um die Flasche zu schieben

### Erklärung und Hintergrund

Wird der Geldschein schnell weggezogen, bleibt die Flasche aufgrund ihrer Trägheit zunächst an ihrem Platz. Die Reibungskraft zwischen Geldschein und Flasche wirkt nur sehr kurze Zeit und reicht nicht aus, um die Flasche deutlich in Bewegung zu versetzen.

Rollt man den Geldschein dagegen auf und schiebt die Flasche langsam und vorsichtig mit der Rolle, wirkt die Kraft über einen längeren Zeitraum. Dadurch kann die Flasche nach und nach in Bewegung gesetzt und kontrolliert verschoben werden.

### Erweiterungen

Dies ist eine Variante des berühmten Tischtuch-Tricks (siehe David Featonby, *Fantastic Feats*, *Science in School* 39, 2017: [www.scienceinschool.org/article/2017/fantastic-feats](http://www.scienceinschool.org/article/2017/fantastic-feats)).

Für eine besondere Herausforderung kann der Versuch mit zwei Flaschen durchgeführt werden. Sie stehen Öffnung auf Öffnung gestapelt. Das Prinzip ist das gleiche, nur dass dieser Aufbau viel instabiler ist als eine einzelne Flasche. Jede Aufwärtsbewegung lässt die obere Flasche herunterfallen. Viel Glück!



Bild 6: Zwei Glasflaschen mit Schein



Bild 7: Bereit zum Anschlagen



Bild 8: Geschafft!

Eine weitere Erweiterung: Was passiert, wenn wir versuchen, das mit leeren Plastikflaschen zu machen? Und was passiert, wenn beide Flaschen mit Wasser gefüllt sind (und natürlich verschlossen)?

## 1.3 Die Trägheits-Challenge

### MINT-Thema

Trägheit, Beschleunigung, freier Fall

### Materialien

#### Challenge 1

- ein Glas
- 2 Münzen

#### Challenge 2

- 3 Münzen

### Beschreibung – So geht's

#### Challenge 1

Balancieren Sie zwei Münzen gegenüber voneinander auf dem Rand eines Weinglases liegend (Bild 1). Das Glas sollte einen möglichst gerade geformten Kelch haben.

Die Herausforderung besteht darin, mit einer Hand beide Münzen gleichzeitig zu entfernen und sie in die Hand zu nehmen. Dabei soll das Weinglas weder berührt noch bewegt werden und keine Hilfsmittel benutzt werden.



Bild 1: Zwei Münzen werden gegenüber voneinander auf dem Rand eines Weinglases balanciert.

#### Challenge 2

Halten Sie drei Münzen mit Daumen und Zeigefinger fest (Bild 2). Können Sie die innere Münze entfernen, ohne die beiden äußeren Münzen loszulassen – und ohne Ihre andere Hand zu benutzen?

### Erklärung und Hintergrund

In beiden Experimenten geht es um den freien Fall und Beschleunigung. Wenn ein Körper losgelassen wird, beträgt seine Anfangsgeschwindigkeit nach unten null. Ohne die Einwirkung anderer Kräfte beschleunigt er mit  $9,8 \text{ m/s}^2$  nach unten. Das bedeutet, dass der Körper im ersten Bruchteil einer Sekunde nur eine sehr kurze Strecke fällt.

Im ersten Experiment werden zunächst die Münzen so heruntergeschoben, dass sie vertikal an den Seiten des Glases liegen und mit den Fingern einer Hand gehalten werden (Bild 3). Aus dieser Ausgangsposition können Sie Ihre Finger mit den Münzen einfach über dem Glas zusammenführen und die Münzen somit auffangen (Bild 4).

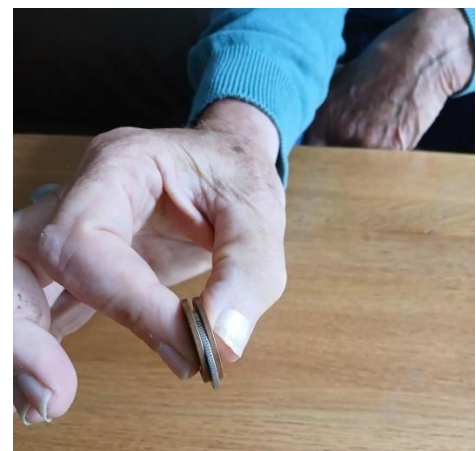


Bild 2: Drei Münzen mit den Fingern halten



Bilder 3 und 4: Die Münzen werden aufgrund ihrer Trägheit mit den Fingern einer Hand aufgefangen.

Im zweiten Experiment wird die Fallstrecke weiter verkürzt, da die leichte Feuchtigkeit der Haut an den Fingern den beiden äußeren Münzen einen zusätzlichen Widerstand gegen die Bewegung verleiht.

Dadurch halten die Finger die äußeren Münzen lange genug fast ruhig, sodass die innere Münze herausrutschen kann, bevor die äußeren Münzen wieder zusammengedrückt werden (Bilder 5 und 6).



Bilder 5 und 6: Die Finger werden sehr schnell ein wenig auseinanderbewegt und dann schnell wieder zusammengedrückt. Dies passiert zwischen den Bildern 5 und 6.

## 1.4 Bar oder mit Karte?

### MINT-Thema

Newtons erstes Bewegungs- und Trägheitsgesetz:

Ohne eine Kraft ändert ein Körper seinen Bewegungszustand nicht.

### Materialien

- eine Münze
- eine Kreditkarte
- ein Glas (oder Becher)

### Beschreibung – So geht's

- Legen Sie eine Kreditkarte oben auf die Öffnung eines Glases (Bild 2).
- Legen Sie eine Münze mittig auf die Kreditkarte (Bild 2).
- Ziehen Sie die Kreditkarte mit einer schnellen Bewegung weg von dem Glas (Bild 3).
- Die Münze fällt fast gerade herunter in das Glas, wenn Sie die Kreditkarte wegziehen (Bild 3).



Bild 1: Benötigte Materialien



Bild 2: Versuchsaufbau



Bild 3: Herausforderung gemeistert!

### Erklärung und Hintergrund

Nach dem ersten Newtonschen Gesetz bleibt die ruhende Münze in ihrem ruhenden Zustand, sofern sie nicht von einer äußeren Kraft beeinflusst wird.

Wenn die Kreditkarte schnell weggezogen wird, folgt die Münze nicht der Bewegung der Karte, weil die Reibung zwischen der Kreditkarte und der Münze gering ist und nur sehr kurz wirkt. Daher fällt die Münze aufgrund der Gravitationskraft in einer geraden Linie nach unten. Dieses Experiment zeigt, dass ein Körper in Ruhe bleibt, wenn keine bedeutende äußere Kraft auf ihn einwirkt.

Solange die Münze auf der Karte liegt, befindet sie sich im Gleichgewicht: Die Gewichtskraft zieht sie nach unten, während die Karte eine gleich große Kraft nach oben ausübt. Die resultierende Kraft ist daher null. Wird die Karte schnell entfernt, bleibt die Münze aufgrund ihrer Trägheit zunächst an ihrem Platz. Da sie nun keine Unterlage mehr hat, fällt sie durch die Schwerkraft senkrecht nach unten.

## 1.5 Der Münzenturm

### MINT-Thema

Newtons erstes Bewegungs- und Trägheitsgesetz, Impulsübertragung

### Materialien

- mehrere gleiche Münzen

### Beschreibung – So geht's

- Bauen Sie einen Turm aus gleichen Münzen (Bild 1), der höher ist als der Durchmesser einer einzelnen Münze.
- Stellen Sie eine Münze neben dem Turm auf und schnipsen Sie sie an, sodass sie auf den Turm zurollt und einige der Münzen berührt.



Bild 1: Münzenturm und rollende Münze



Bild 2: Münzen nach dem Zusammenstoß

Nach dem Zusammenstoß schaut eine einzelne Münze aus dem Turm hervor (Bild 2). Sie liegt im Turm auf der Höhe, die dem Radius der Münze entspricht.

### Erklärung und Hintergrund

Die rollende Münze übt nur auf der Höhe ihres Radius eine Kraft auf den Münzenturm aus (Bild 3). Die Münze, die auf dieser Höhe im Turm liegt, ist daher die Einzige, die bewegt wird (Bild 4). Die anderen Münzen bleiben liegen. Wenn die rollende Münze auf den Stapel trifft, überträgt sie ihren Schwung nur auf diese eine Münze, während die anderen darunter und darüber fast ruhend liegen bleiben.



Bild 3: Vor dem Zusammenstoß



Bild 4: Nach dem Zusammenstoß

## Erweiterungen

Probieren Sie das Experiment mit einem höheren Stapel!

- Wird der Münzenturm durch die zusätzliche Masse stabiler? Oder wird es schwieriger, die einzelne Münze herauszustoßen, weil die Reibung größer ist?
- Wie beeinflusst die Anzahl der Münzen über der Höhe des Radius die Durchführung des Experiments?
- Was passiert, wenn Sie eine kleinere oder größere Münze zum Rollen benutzen?

## 1.6 Die Münzen auf dem Strohhalm

### MINT-Thema

Dieses Experiment veranschaulicht sowohl Newtons erstes Bewegungsgesetz (Trägheit) als auch den Zusammenhang zwischen linearer Geschwindigkeit, kinetischer Energie und potenzieller Energie.

### Materialien

- 3 Strohhalm (oder Bleistifte)
- 2 gleiche Münzen

### Beschreibung – So geht's

Legen Sie zwei Münzen wie in Bild 1 flach auf die Strohhalm. Eine Münze ist eine Einheit vom Drehpunkt entfernt, die andere Münze drei Einheiten. Wenn Sie mit der Hand auf das überstehende Ende der Strohhalm schlagen, werden die Münzen nach oben geschleudert. Aber wie hoch?

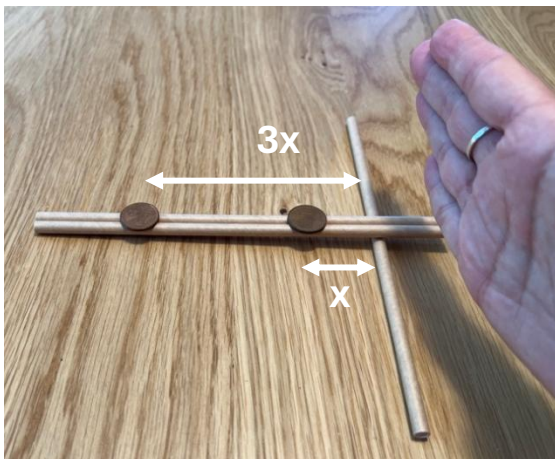


Bild 1: Versuchsaufbau

Werden beide Münzen von den Strohhalmen fliegen? Fliegen beide Münzen gleich weit? Wird die Münze, die weiter vom Drehpunkt entfernt liegt, höher fliegen? Wird die Flugbahn der Münzen mit der Lage der Münzen auf den Strohhalmen zusammenhängen?

Probieren Sie es aus! Benutzen Sie Bleistifte, wenn Sie keine Strohhalm haben.

## Erklärung und Hintergrund

Wenn die Strohhalme nach oben schnellen und plötzlich gestoppt werden, bewegen sich die Münzen aufgrund ihrer Trägheit weiter und fliegen nach oben.

Dabei spielt die Entfernung zum Drehpunkt eine wichtige Rolle: **Je weiter eine Münze vom Drehpunkt entfernt liegt, desto schneller wird sie durch die Bewegung der Strohhalme beschleunigt.** Die weiter außen liegende Münze hat deshalb beim Hochschnellen eine höhere Geschwindigkeit und fliegt in der Regel höher als die Münze, die näher am Drehpunkt liegt.

### Was passiert?

Die Geschwindigkeit der Münzen hängt von der Entfernung zum Drehpunkt ab:

- Die Münze im Abstand  $x$  vom Drehpunkt hat eine bestimmte lineare Geschwindigkeit  $v$ .
- Die Münze im Abstand  $3x$  vom Drehpunkt bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von  $3v$ , da die Geschwindigkeit mit der Entfernung vom Drehpunkt zunimmt, wenn die Strohhalme hochwippen.

Betrachten wir nun die Energien:

- Die kinetische Energie ist proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit ( $E_k = 1/2mv^2$ ).
- Daher hat die Münze bei  $3x$  nicht nur 3-mal, sondern 9-mal mehr kinetische Energie als die Münze bei  $x$ , da  $(3v)^2 = 9v^2$  gilt.

Wenn die Münzen nach oben fliegen, wird ihre kinetische Energie in gravitative potenzielle Energie umgewandelt ( $E_p = mgh$ ). Mit 9-mal mehr Energie fliegt die entferntere Münze etwa 9-mal so hoch wie die Näherliegende.

## 2 FREIER FALL

Beim freien Fall fällt ein Objekt frei in der Luft nach unten. Die Beschleunigung des Objekts beträgt dabei immer  $9,81 \frac{m}{s^2}$ . Diese Beschleunigung wird auch Erd- oder Fallbeschleunigung genannt. Der freie Fall und die Schwerkraft lassen sich anhand verschiedener Experimente untersuchen. Wenn ein Apfel vom Baum fällt, ist der freie Fall gut zu beobachten, da dann Reibungskräfte kaum eine Rolle spielen. Anders ist es, wenn ein Blatt vom Baum fällt.

### 2.1 Freier Fall und Reaktion

#### MINT-Thema

Freier Fall, Reaktionszeit

Es dauert etwa 0,5 Sekunden, bis wir auf einen visuellen Reiz reagieren. Das ist länger als es dauert, dass ein Geldschein um seine eigene Länge herabfällt.

#### Materialien

- ein Geldschein
- 2 Personen

#### Beschreibung – So geht's

Zur Durchführung des Experiments benötigen Sie zwei Personen. Die erste hält den Geldschein, wie in Bild 1 zu sehen ist, und die andere hält unter dem Geldschein ihre offenen Finger bereit zum Fangen.

Die erste Person lässt den Geldschein plötzlich fallen. Die zweite Person versucht, den Schein mit den Fingern zu fangen. Dies wird nicht klappen (Bild 2).



Bild 1: Vorbereitung für das Experiment



Bild 2: Zu spät, um den Geldschein zu fangen

### Erklärung und Hintergrund

Die Reaktionszeit der zweiten Person, um den Geldschein greifen zu können, ist zu lang. Daher fällt der Schein zu Boden. Die zweite Person kann es schaffen, den Schein kurz über dem Boden zu fangen, da sie genug Zeit hat, die Knie zu beugen und die Hand schnell zu bewegen (Bild 3).



Bild 3: Den Geldschein vor dem Boden abfangen

### Erweiterung

Wie variiert die Reaktionszeit bei unterschiedlichen Sinnen, mit denen das Loslassen des Scheins wahrgenommen wird? Was passiert, wenn die fangende Person, statt visuell zu beobachten, angetippt wird oder ihr laut gesagt wird, wenn der Schein fällt? Bei beiden Methoden ist die Reaktionszeit messbar kürzer als beim Sehen. Aber reicht dies aus, um den Geldschein zu fangen?

Führen Sie das Experiment erneut durch und melden Sie das Loslassen des Scheins entweder durch Antippen am Kopf oder einen hörbaren Ruf. Sie werden feststellen, dass bei Sicht die längste Reaktionszeit benötigt wird.

## 2.2 Fallen Münzen schneller als $g$ ?

### MINT-Thema

Newtonsche Gesetze, Drehbewegung

Kann ein Objekt schneller als im freien Fall fallen, also schneller als mit  $g$ ?

### Materialien

- ein Lineal
- ein Scharnier, das an einem Tisch o.ä. befestigt wird
- mehrere Münzen
- ein Behälter

### Beschreibung – So geht's

Der Aufbau besteht aus einem waagrecht liegenden Lineal, das an einem Ende an einem Scharnier befestigt ist und dessen anderes Ende frei ist, sodass es nach unten drehen kann. Auf das Lineal werden Münzen gelegt; unter dem Lineal steht ein leerer Behälter.

Wie ist die Beschleunigung der verschiedenen Teile des Lineals und wie wirkt sich das auf die darauf liegenden Münzen aus? Werden nicht alle vom Lineal herunterrutschen und in den Behälter fallen? Wie beeinflussen die Masse der Münzen und die Reibungskraft zwischen Lineal und Münzen das Ergebnis? Was beeinflusst, wie viele Münzen im Behälter landen?



Bild 1: Der Versuchsaufbau



Bild 2: Die Münzen auf dem Lineal

## Erklärung und Hintergrund

Wenn sich das Lineal in diesem Experiment nach unten dreht, beträgt die Beschleunigung des Massenschwerpunkts  $g$ .

Allerdings beschleunigt das eine Ende des Lineals nahe am Drehpunkt mit einer Beschleunigung kleiner als  $g$ , während das andere Ende mit einer Beschleunigung größer als  $g$  beschleunigt.

So verlieren die vom Drehpunkt entfernten Münzen den Kontakt zum Lineal und fallen frei mit  $g$ , während die Münzen näher am Drehpunkt auf dem Lineal bleiben und in den Behälter fallen, wenn sie das Lineal herunterrutschen.

Das freie Ende des Lineals bewegt sich mit einer Beschleunigung nach unten, die größer ist als die Erdbeschleunigung. Daher fallen Münzen in der Nähe dieses Endes sofort vom Lineal herunter und fallen senkrecht nach unten. Münzen, die näher am Drehpunkt liegen, bleiben – je nach Stärke der Reibungskraft – auf dem Lineal liegen und rutschen möglicherweise in den Topf hinunter.



Bild 3: Etwa die Hälfte der Münzen ist im Behälter gelandet, während die andere Hälfte ungefähr unter ihren Startpositionen liegt.

## 2.3 Münze oder Feder?

### MINT-Thema

Kräfte, Luftwiderstand, Schwerkraft

Dieses Experiment wurde im Jahr 1761 von George Adams für eine Vorführung vor König George III von England durchgeführt. Eine Feder und eine Guinee, eine damalige britische Goldmünze, wurden zusammen in einer Vakuumröhre fallen gelassen. Das Experiment kann auch mit verschiedenen anderen Gegenständen in der Vakuumröhre durchgeführt werden. Sobald Luft eingeleitet wird, wird der Unterschied im Fallen deutlich.

Unsere Variante des Experiments ist kostengünstiger. Dafür werden ein Stück Papier und eine Münze benötigt. Wie können die beiden Gegenstände so fallen, dass sie gleichzeitig den Boden erreichen?

### Materialien

- eine mittelgroße Münze
- ein kleines Stück Papier

### Beschreibung – So geht's

- Schneiden oder reißen Sie ein kleines Stückchen Papier ab, das kleiner als Ihre Münze ist.
- Legen Sie das Papierstückchen oben auf die Münze (Bild 1).
- Vergewissern Sie sich, dass das Papier nur auf der Münze liegt und keine Ecke überhängt.
- Lassen Sie beides zusammen herunterfallen (Bild 2).

### Erklärung und Hintergrund

Wenn man eine Münze und ein kleines Stück Papier gleichzeitig nebeneinander aus derselben Höhe fallen lässt, fällt die Münze mit größerer Beschleunigung als das Papier. Dies liegt am Luftwiderstand, der auf das leichte Papier einen stärkeren Einfluss hat als auf die schwerere Münze.

Legt man das Papier jedoch auf die Münze und lässt beides zusammen herunterfallen, befindet sich das Papier im Windschatten der Münze und erfährt nur eine geringe Reibungskraft. So fällt das Papier gleichzeitig mit der Münze.

Ein Windschatten entsteht auch beispielsweise im Verkehr, wenn ein Motorradfahrer direkt hinter einem LKW herfährt. Auch im Radsport ist es üblich, dicht hinter der vorderen Person zu fahren, um deren Windschatten zu nutzen.



Bild 1: Der Versuchsaufbau



Bild 2: Die Münze mit dem Papier obendrauf fallen lassen

## 2.4 Der Münzraub

### MINT-Thema

Beschleunigung, Reaktionszeit, Geschwindigkeit, Entfernung

### Materialien

- mehrere Münzen
- optional: Lineal (für die Erweiterung)

### Beschreibung – So geht's

Balancieren Sie einen Stapel Münzen auf Ihrem Ellbogen. Stapeln Sie so viele Münzen wie möglich!

Drehen Sie Ihren Arm nach vorne (Bild 1). Können Sie dabei die Münzen fangen, bevor sie fallen (Bild 2)?



Bild 1: Bereit, die Münzen zu fangen?



Bild 2: Geschafft, alle Münzen gefangen!

### Erklärung – Wissenschaft Hintergrund

Sobald die Münzen losgelassen werden, beschleunigen sie mit  $g$  nach unten. Ihre Anfangsgeschwindigkeit ist Null, sodass die Münzen zunächst nur eine kurze Strecke zurücklegen. Daher können sie leicht mit der Hand gefangen werden, wenn die Hand nach vorne kommt. Der Luftwiderstand ist bei dieser kurzen Strecke und geringen Geschwindigkeit vernachlässigbar.

Wie viele schaffen Sie zu fangen?

### Erweiterungen

Mit einem Lineal auf dem Arm können Sie das Experiment mit einer Reihe Münzen versuchen (Bild 3).

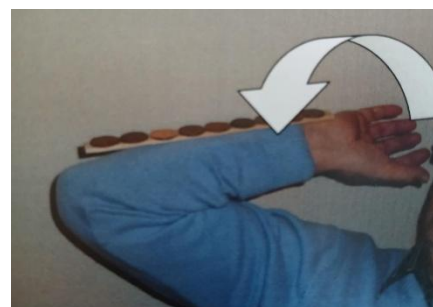


Bild 3: Geht das auch mit einer ganzen Reihe Münzen?

## 3 CHEMIE

Bei Geld geht es nicht nur um Zahlen und Werte – es geht auch um **Materialien und Chemie**. Münzen und Banknoten werden aus Materialien hergestellt, die ihnen Festigkeit, Langlebigkeit und manchmal überraschende Eigenschaften verleihen.

### 3.1 Die magische Lösung

#### MINT-Thema

Redoxreaktion

#### Materialien

- 2 angelaufene Kupfermünzen
- ein Trinkglas
- etwas Essig
- optional: ein Teelöffel Salz
- Wasser und ein Tuch zum Trocknen

#### Beschreibung – So geht's

- Nehmen Sie zwei angelaufene, also dunkelbraune, nicht mehr glänzende Kupfermünzen (Bild 1).
- Füllen Sie etwas (ca. 0,5-1 cm) Essig in ein Glas.
- Optional können Sie einen Teelöffel Salz hinzugeben, dies kann jedoch auch unterbleiben. Rühren Sie die Lösung, bis sich das Salz aufgelöst hat (Bild 2).
- Legen Sie eine Münze für einige Minuten in die Lösung (Bild 3). Die Zeit kann je nach Stärke der Lösung und Grad der Oxidierung, also der Bräunung oder Schwärzung der Münze, variieren; ein paar Minuten sollten jedoch ausreichen.
- Beobachten Sie, wie sich die Farbe der Münze verändert.
- Nehmen Sie die Münze heraus, spülen Sie sie mit Wasser ab und trocknen Sie sie gut ab. Vergleichen Sie das Aussehen der gereinigten Münze und der angelaufenen Münze (Bild 4).

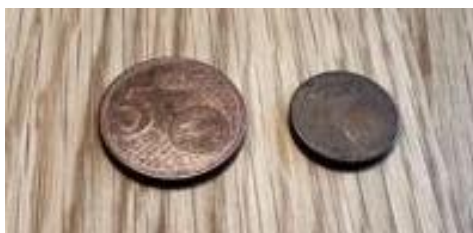


Bild 1: Zwei angelaufene Kupfermünzen



Bild 2: Die Lösung mit Essig und Salz



Bild 3: Die Münze in der Lösung



Bild 4: Vergleich der beiden Münzen

## Erklärung und Hintergrund

Kupfer, das in manchen Münzen enthalten ist, reagiert im Laufe der Zeit mit dem Sauerstoff in der Luft und bildet dabei Kupfer-Patina, ein Gemisch aus verschiedenen Kupfer-Salzen, das Kupfer(II)-Ionen enthält, wodurch die Münze dunkler, also angelaufen aussieht.

Essig reagiert mit der schwer löslichen Kupfer-Patina auf der Oberfläche der Münze und bildet dabei wasserlösliche Kupfersalze (Kupfer(II)-acetat). Die Essigsäurelösung entfernt auf diese Weise die Patinaschicht und legt das darunterliegende glänzende metallische Kupfer frei.

Das Hinzufügen von Natriumchlorid, also von (Koch-)Salz, beschleunigt den Reinigungsprozess, ist aber nicht unbedingt notwendig. Kochsalz (Natriumchlorid) liefert Chlorid-Ionen ( $\text{Cl}^-$ ), die mit den Kupfer(II)-Ionen gut lösliche Chlorokupfer(II)-Komplexe bilden und dabei die Acetat-Ionen aus dem mäßig löslichen Kupfer(II)-acetat-Komplex verdrängen. Diese Verdrängung funktioniert bei langem Stehen lassen auch mit den Salzgemischen in der schwer löslichen Kupfer-Patina. Durch die Natriumchlorid-Zugabe lassen sich die schwer- und mäßig löslichen Kupfer(II)-Salze leichter von der Oberfläche der Münze entfernen. Nach der Reinigung ist die Münze heller und hat wieder die ursprüngliche Kupferfarbe, da die Reaktionsprodukte mit dem Sauerstoff aus der Luft und dem Handschweiß (u. A. Kupfer(I)-oxid, Kupfer(II)-hydroxid, Kupfer(II)-carbonat, Kupfer(II)-sulfat), die sie dunkel verfärbt haben, entfernt wurden.

## Erweiterungen

Wiederholen Sie den Test mit Cola und Tomatensauce und beobachten Sie, ob diese Stoffe auch die Münzen reinigen können.

## 3.2 Die Münzbatterie

### MINT-Thema

Elektrische Spannung, Oxidation, Reduktion

Batterien nutzen eine chemische Reaktion, um Strom zu erzeugen. Sie benötigen zwei verschiedene Metalle (Elektroden) und eine saure Lösung (Elektrolyt). Als Elektrolyt können Sie Wasser mit Essig und Salz verwenden.

### Materialien

- mehrere Kupfermünzen (bspw. 5-Cent-Münzen)
- mehrere runde Aluminiumstücke (bspw. aus einer Geträndedose oder Alufolie)
- runde Stücke aus saugfähigem Papier oder Filz
- etwas Zitronensaft oder Essig
- optional: Spannungsmessgerät (Voltmeter) (für die Erweiterung)
- optional: eine LED-Lampe (für die Erweiterung)

### Beschreibung – So geht's

Für die Münzbatterie bauen Sie einen Stapel aus 5-Cent-Münzen oder anderen Münzen mit Kupferoberfläche. Zudem brauchen Sie runde Aluminiumstücke. Diese können Sie aus einer Geträndedose (oder aus Alufolie) ausschneiden; sie sollen so groß wie die Münzen sein. Schneiden Sie außerdem Kreise aus saugfähigem Papier (oder Filz) in Größe der Münzen aus. Weichen Sie diese in einer Lösung aus Wasser mit einigen Tropfen saurer Lösung, wie Zitronensaft oder Essig, ein.

Stapeln Sie nun die drei unterschiedlichen Teile abwechselnd: Beginnen Sie mit einer 5-Cent-Münze, auf diese das in Elektrolyten eingeweichte Papier, und zuletzt einen Aluminiumkreis. Diese Reihenfolge wiederholen Sie, bis Sie zehn Münzen verbraucht haben.

### Erklärung und Hintergrund

Eine Batterie oder elektrochemische Zelle besteht aus zwei Elektroden (Anode und Kathode) und mindestens einem, üblicherweise zwei Elektrolyten. An der Anode findet die Oxidation der Teilchen statt, also die Abgabe von Elektronen (an den metallischen Leiter). An der Kathode findet die Reduktion der Teilchen statt, also die Aufnahme von Elektronen (aus dem metallischen Leiter). Die Ionenbrücke/das Diaphragma ermöglicht im Verbund mit den beiden Elektrolyten den Ausgleich des entstehenden elektrischen Feldes durch die Bewegung von Ionen. So wird der Stromfluss zwischen den Elektroden gewährleistet. In manchen Fällen reicht für den Betrieb einer elektrochemischen Zelle ein einziger Elektrolyt, in den beide Elektroden eintauchen, aus. Dies ist bei diesem Experiment der Fall.

Am Minuspol (Anode) werden die Aluminium-Atome zu Aluminium-Ionen  $\text{Al}^{3+}$  oxidiert und geben dabei jeweils drei Elektronen ab, am Pluspol (Kathode) findet die Aufnahme von Elektronen statt. Dies geschieht üblicherweise durch Sauerstoff-Moleküle, die dann zu Hydroxid-Ionen reagieren, evtl. auch durch Oxonium-Ionen, die dann Wasserstoff-Moleküle bilden oder in ganz geringem Umfang auch durch wenige Kupfer-Ionen, die zu Kupfer-Atomen reagieren, wenn die verwendeten Münzen vorher

von einer Kupfer-Patina überzogen waren. Der Elektrolyt ermöglicht die gerichtete Bewegung von Ladungen zwischen den beiden Halbzellen (= Elektrode im Elektrolyten).

## Erweiterungen

- Messen Sie die Spannung mit einem Spannungsmessgerät (Voltmeter).
- Vergleichen Sie die Spannung bei zunehmender Anzahl von Münzen, Papier- und Folieneinheiten (elektrochemischen Zellen).
- Challenge: Bringen Sie eine LED zum Leuchten.

## Erweiterung: Die Obstbatterie

### Materialien

- vier Zitronen oder Orangen oder Tomaten
- ein Küchenmesser
- vier 5-Cent-Münzen
- vier verzinkte Nägel
- fünf Experimentierkabel mit Krokodilklemmen
- eine kleine LED-Lampe

### Beschreibung – So geht's

- Schneiden Sie mit einem Küchenmesser jeweils einen kleinen Schlitz in vier Zitronen (oder Orangen oder Tomaten).
- Stecken Sie eine 5-Cent-Münze zur Hälfte in den Schlitz.
- Stecken Sie einen verzinkten Nagel in jede Zitrone, und zwar auf die andere Seite als die Münze. Achten Sie darauf, dass sich Münze und Nagel nicht berühren.
- Verbinden Sie den Nagel einer Zitrone mit der Münze der nächsten Zitrone mithilfe von Experimentierkabeln mit Krokodilklemmen.
- Wiederholen Sie dies, bis alle vier Zitronen (oder Orangen oder Tomaten) in Reihe geschaltet sind.
- Befestigen Sie eine freie Klemme an der übrigen (offenen) Münze und die andere freie Klemme am übrigen (offenen) Nagel.
- Verbinden Sie diese letzten Klemmen mit den Anschlüssen einer Mini-LED-Lampe. Falls sie nicht leuchtet, tauschen Sie den Anschluss der Experimentierkabel an der LED, da LEDs den elektrischen Strom nur in eine Richtung durchlassen und nur dann leuchten.

### Erklärung und Hintergrund

In jeder Zitrone (oder Orange oder Tomate) findet eine chemische Reaktion statt:

- Am Zink-Nagel findet die **Oxidation** statt, Zink-Atome geben jeweils zwei Elektronen ab und reagieren zu Zink(II)-Ionen  $\text{Zn}^{2+}$ .
- An der Kupfer-Münze findet die **Reduktion** statt. Sauerstoff-Moleküle, die auf der Oberfläche der Münze haften, reagieren unter Aufnahme von je vier Elektronen mit Wasser-Moleküle zu Hydroxid-Ionen.

Der Elektronenfluss von der Zink-Nagel- zur Kupfer-Münzen-Elektrode kann **elektrische Energie z. B. zum Betrieb von (rohen) Leuchtdioden oder Solarmotoren (Elektromotoren mit niedriger Anlaufspannung und Stromstärke) bereitstellen**. Durch das Verbinden mehrerer Zitronen (oder Orangen oder Tomaten) summiert sich die Spannung und wird hoch genug, um eine LED mit Strom zu versorgen. Rote LEDs beginnen normalerweise ab 1,6-2,2 V zu leuchten, grüne und gelbe LEDs erst ab 19,-2,5 V.

(Siehe Giuseppe D'Acquisto, *The birth of electrochemistry: building a simple voltaic pile*, *Science in School* 71, 2025: [www.scienceinschool.org/article/2025/building-a-simple-voltaic-pile/](http://www.scienceinschool.org/article/2025/building-a-simple-voltaic-pile/))

## 4 OBERFLÄCHENSpannung

Wasser wirkt weich und fließend, seine Oberfläche besitzt aber eine erstaunliche Eigenschaft: Sie verhält sich wie eine unsichtbare, elastische „Haut“, die sogenannte Oberflächenspannung. Diese Oberflächenspannung sorgt dafür, dass Wassertropfen annähernd kugelförmig werden und Wasserläufer scheinbar mühelos über die Wasseroberfläche laufen können. Sie steckt außerdem hinter vielen faszinierenden und überraschenden Experimenten, die zeigen, wie außergewöhnlich sich Wasser verhalten kann.

### 4.1 Die Oberflächenspannungs-Challenge

#### MINT-Thema

Dieses einfache Experiment veranschaulicht die Oberflächenspannung, eine Eigenschaft von Flüssigkeiten, die auf den Wechselwirkungen zwischen ihren Molekülen beruht. Diese Anziehungskräfte sind die Ursache dafür, dass Wasser an seiner Oberfläche eine Art „Haut“ bildet und auf einer Münze ein gewölbter Tropfen entsteht.

(Siehe 'Feat 2: Water pile-up' in David Featonby, Victoria Demianets, *Fantastic feats: magic with money*, *Science in School* 47, 2019: [www.scienceinschool.org/article/2019/fantastic-feats-magic-money/](http://www.scienceinschool.org/article/2019/fantastic-feats-magic-money/))

#### Materialien

- eine kleine Kupfermünze (z. B. eine 1-Cent-Münze)
- eine Pipette (oder Spritze)
- sauberes Wasser
- eine ebene Fläche (z. B. ein Tisch)
- Seife oder Spülmittel (optional, für die Erweiterung)

#### Beschreibung – So geht's

1. Reinigen Sie die Münze gründlich mit heißem Wasser und Seife. Spülen Sie die Münze ab und trocknen Sie sie vollständig ab, um eventuelle Fett- oder Seifenrückstände zu entfernen.
2. Füllen Sie die Pipette mit sauberem Wasser.
3. Halten Sie die Pipette knapp über der Münze – ohne die Münze zu berühren – und geben Sie einen Wassertropfen in die Mitte (Bild 1).
4. Fügen Sie einen Tropfen nach dem anderen hinzu und zählen Sie die Tropfen.
5. Beobachten Sie, wie sich das Wasser kuppelförmig auf der Münze „auftürmt“ (Bild 2).
6. Geben Sie so lange weitere Tropfen zu, bis das Wasser über den Rand läuft. Notieren Sie die Gesamtzahl der Tropfen.
7. Wiederholen Sie das Experiment und versuchen Sie, Ihre eigene Topfenzahl zu übertreffen. Die Schüler\*innen können sich auch gegenseitig zu einer Oberflächenspannungs-Challenge herausfordern.



Bild 1: Die ersten Wassertropfen auf der Münze



Bild 2: Volle Münze mit etwa 40 Wassertropfen

## Erklärung und Hintergrund

Wassermoleküle ziehen sich gegenseitig an. Im Inneren der Flüssigkeit wirken diese Anziehungskräfte in alle Richtungen. An der Oberfläche fehlen jedoch Nachbarn auf der Seite der Luft. Die Moleküle werden dadurch einseitig nach innen gezogen, und die Oberfläche verhält sich wie ein gespannter, elastischer Film. Diese Eigenschaft nennt man Oberflächenspannung. Sie lässt das Wasser auf der Münze kuppelförmig zusammenlaufen, ohne überzulaufen. Die saubere Oberfläche der Münze ist entscheidend: Eine saubere, fettfreie Oberfläche ermöglicht eine gute Benetzung durch Wasser. Fett oder andere Verunreinigungen können die Wechselwirkungen zwischen Wassermolekülen und den kleinsten Teilchen der Münzoberfläche verändern und dadurch beeinflussen, wie gut sich das Wasser auf der Münze verteilt.

Gibt man Seife oder Spülmittel hinzu, lagern sich die Tensidmoleküle an der Grenzfläche zwischen Wasser und Luft an und setzen die Oberflächenspannung herab. Das Wasser kann sich leichter ausbreiten und läuft schneller über den Rand. Das Experiment macht damit anschaulich, wie Wechselwirkungen auf molekularer Ebene die sichtbaren Eigenschaften einer Flüssigkeit bestimmen und wie sich diese Effekte sogar beobachten und messen lassen.

## Warum passiert das?

Die Elektronenpaarbindung zwischen dem Wasserstoff- und Sauerstoffatom im Wassermolekül ist stark polar. Das Wasserstoffatom besitzt eine positive, das Sauerstoffatom eine negative Teilladung. Aufgrund dieser Teilladungen kommt es zwischen den Wasserstoffatomen eines Wassermoleküls und den Sauerstoffatomen eines anderen zu starken Anziehungskräften, den sogenannten Wasserstoffbrücken. Im Inneren der Flüssigkeit wirken diese Anziehungskräfte zwischen den Molekülen gleichmäßig in alle Richtungen, an der Oberfläche hingegen nur zur Seite und nach unten, wodurch eine Spannung entsteht, die wie eine unsichtbare, elastische „Haut“ erscheint.

## Erweiterungen

Erforschen Sie weitere Phänomene, die auf die Oberflächenspannung zurückzuführen sind:

- **Seifenüberraschung:**  
Geben Sie einen Tropfen Seife in die Wasserkuppel und beobachten Sie, wie sie zusammenbricht. Besprechen Sie mit der Klasse, wie Seifenmoleküle die Oberflächenspannung des Wassers beeinflussen.
- **Temperaturtest:**  
Vergleichen Sie, wie viele Tropfen kaltes bzw. warmes Wasser auf die Münze passen. Beeinflusst die Temperatur die Oberflächenspannung?
- **Unterschiedlich große Münzen:**  
Führen Sie das Experiment mit größeren oder kleineren Münzen durch. Prognostizieren und messen Sie, wie sich die Größe der Münze auf die Anzahl der Wassertropfen auswirkt.
- **Wasser in Zeitlupe:**  
Nehmen Sie das Experiment mit einer Slow-Motion-Kamera auf und beobachten Sie, wie die Wasserkuppel wächst. Beobachten Sie den entscheidenden Moment, in dem das Wasser überläuft, und analysieren Sie, was das Überlaufen verursacht.

## 4.2 Die Spannung unter der Bankkarte

### MINT-Thema

Oberflächenspannung des Wassers

### Materialien

- ein mit Wasser gefülltes Glas
- eine Bankkarte oder Kreditkarte
- mehrere Münzen
- optional: Spülmittel (für die Erweiterung)

### Beschreibung – So geht's

Wenn wir eine Bankkarte auf dem Rand eines Glases balancieren und versuchen, eine Münze auf die Karte zu legen, fällt sie herunter. Wenn das Glas jedoch mit Wasser gefüllt ist, erhalten wir ein anderes Ergebnis.

1. Füllen Sie zunächst ein Glas bis zum Rand voll mit Wasser.
2. Balancieren Sie dann eine Bankkarte auf dem Rand des Glases.
3. Versuchen Sie nun, so viele Münzen wie möglich auf die außen überstehende Seite der Bankkarte die Karte zu legen (Bild 1).



Bild 1: Versuchsaufbau

### Erklärung und Hintergrund

Neben der Oberflächenspannung, die die Karte auf der Oberfläche trägt, wirken zwischen den Wassermolekülen und den Molekülen des Kartenmaterials ebenfalls Anziehungskräfte, die sogenannten Adhäsionskräfte. Diese halten die Karte zusätzlich auf der Wasseroberfläche fest. Wenn die Gewichtskraft der Münzen diese Kräfte übersteigt, gibt die Oberfläche nach.

(Siehe Paul Nugent, Science on Stage Ireland, Video “Bank Card, Coins and Water Surface Tension”:  
<https://youtu.be/GYEEmA0HiBo>)

### Erweiterungen

Untersuchen Sie, ob die Wassertemperatur oder die Zugabe eines Tropfens Spülmittel zum Wasser die Anzahl der Münzen beeinflusst, die auf der Karte balancieren können.

## 4.3 Die Münzen im Wasserglas

### MINT-Thema

Oberflächenspannung hält die Wasseroberfläche zusammen – selbst wenn sich das Wasser über den Glasrand hinaus wölbt.

### Materialien

- ein mit Wasser gefülltes Glas
- mehrere Münzen
- optional: Spülmittel
- optional: eine Unterlage für das Glas oder ein Tuch zum Aufwischen von Wasser

**Beschreibung – So geht's**

1. Achten Sie darauf, dass Ihr Glas einen glatten Rand ohne Ausguss o. ä. hat und dass der Rand sauber und fettfrei ist.
2. Füllen Sie das Glas bis zum Rand mit sauberem Wasser.
3. Dann nehmen Sie eine saubere Münze und schieben Sie sie über den Rand ins Wasserglas.
4. Schieben Sie immer mehr Münzen über den Rand in das Glas. Wie viele können Sie in das Glas geben, ohne dass das Wasser überläuft?
5. Beobachten Sie genau, was an der Wasseroberfläche passiert, wenn Sie weitere Münzen hinzufügen.



Bild 1: Eine Münze nach der anderen wird in das gefüllte Glas gegeben.

**Erklärung und Hintergrund**

Überraschenderweise war es bei diesem Versuch möglich, 16 Münzen hinzuzufügen, ohne auch nur einen Tropfen Wasser zu verschütten.

Die Antwort auf die Frage „Wie viele Münzen passen in das Glas, ohne dass es überläuft?“ hängt davon ab, wie voll das Glas zu Beginn ist und wie weit der Füllstand über den Rand hinausragt, von der genauen Form des Glases und davon, wie vorsichtig man die Münzen in das Glas schiebt. Dies könnte eine Idee für einen Challenge unter den Schüler\*innen sein – oder eine Diskussion über die Vergleichbarkeit von Experimenten (z. B. Variablenkontrolle) anstoßen. Geben Sie als nächstes einen Tropfen Spülmittel auf die Wasseroberfläche. Das Wasser läuft sofort über.

Auch hier ist die Oberflächenspannung für die Wölbung des Wassers verantwortlich, selbst wenn es über den Rand des Glases hinausragt. So können weitere Münzen hinzugefügt werden. Nehmen Sie nach dem Experiment die Münzen heraus und berechnen Sie, um wie viel sich das Volumen im Glas erhöht hat.

## 5 ELEKTRIZITÄT UND MAGNETISMUS

Elektrizität und Magnetismus gehen Hand in Hand. Wenn elektrischer Strom durch einen Draht fließt, erzeugt er ein Magnetfeld um diesen herum. Ebenso kann die Bewegung von Magneten in der Nähe einer Drahtspule eine Ladungstrennung und damit elektrische Energie erzeugen. Diese enge Verbindung wird **Elektromagnetismus** genannt und bildet die wissenschaftliche Grundlage für viele Technologien im Alltag – von Elektromotoren und Lautsprechern bis hin zu Generatoren und MRT-Geräten.



### Sicherheitshinweis für die Arbeit mit starken Magneten

Beachten Sie bitte unbedingt die einschlägigen Sicherheitsvorschriften!

Insbesondere bei Träger\*innen von Herzschrittmachern oder implantierten Defibrillatoren können die Geräte in einen festen Betriebsmodus versetzt oder Defibrillatoren temporär ausgeschaltet werden, solange sich ein starker Magnet in der Nähe des implantierten Geräts befindet.

Kreditkarten, Datenträger, Hörgeräte, RFID-Karten u.a. können durch sehr starke Magnetfelder in ihrer Funktion beeinträchtigt oder zerstört werden.

### 5.1 Die Münze in der Streichholzschachtel

#### MINT-Thema

Magnetismus

Dieses Experiment ist ein Zaubertrick!

#### Materialien

- eine Streichholzschachtel (vorzugsweise mit Streichhölzern gefüllt, damit sie ganz normal aussieht)
- zwei 5-Cent-Münzen (oder andere Münzen aus magnetischem Material, z. B. britische Pennies, kanadische Cents)
- ein kleiner, starker Magnet (z. B. ein Neodym-Magnet)

#### Vorbereitung

Kleben Sie heimlich einen kleinen Magneten in das Innenfach der Streichholzschachtel, sodass er unter den Streichhölzern liegt (Bild 1). Achten Sie darauf, dass der Magnet stark genug ist, um eine Münze durch die Streichholzschachtel hindurch anzuziehen.

Legen Sie eine magnetische Münze in die Streichholzschachtel auf die Streichhölzer und positionieren Sie sie so, dass sie nicht zu sehen ist, wenn die Schachtel nur halb geöffnet ist (Bild 2). Wenn Sie die Schachtel schließen, bleibt die Münze auf den Streichhölzern liegen. Die andere magnetische Münze halten Sie für den Zaubertrick in der Hand.

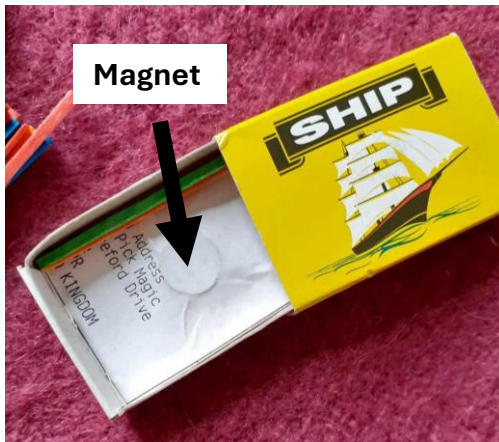


Bild 1: Der heimlich eingeklebte Magnet



Bild 2: Die Münze auf den Streichhölzern

### Beschreibung – So geht's

1. Nehmen Sie eine Münze in der Hand und achten Sie darauf, dass sie für Ihre Klasse sichtbar ist.
2. Zeigen Sie Ihrer Klasse die Streichholzschachtel. Öffnen Sie sie halb, damit die darin versteckte Münze nicht zu sehen ist (Bild 3).
3. Schließen Sie die Streichholzschachtel und legen Sie sie auf die Münze in Ihrer Hand (Bild 4).
4. Heben Sie vorsichtig die Streichholzschachtel von der Hand. Die Münze ist aus Ihrer Hand verschwunden!
5. Öffnen Sie schließlich die Streichholzschachtel, um zu zeigen, dass die Münze wie von Zauberhand darin erschienen ist (Bild 5).



Bilder 3 bis 6: Schritt-für-Schritt-Anleitung für den Zaubertrick „Die Münze in der Streichholzschachtel“

## Erklärung und Hintergrund

Dieser Zaubertrick nutzt auf raffinierte Weise den Magnetismus, um die Illusion einer verschwindenden und wieder auftauchenden Münze zu erzeugen. Magnetismus ist ein Aspekt des Elektromagnetismus, einer der vier Grundkräfte der Physik, auch fundamentale Wechselwirkungen genannt.

Die verwendeten 5-Cent-Münzen sind magnetisch, denn sie enthalten Stahl, der ferromagnetisch ist. Das heißt, sie können von einem Magneten angezogen werden. Sie. Der kleine Magnet, der in der Streichholzschachtel versteckt ist, erzeugt ein Magnetfeld, das die Münze in Ihrer Hand anziehen kann.

Eine wichtige Eigenschaft des Magnetismus ist, dass er nichtmagnetische Materialien wie den Karton der Streichholzschachtel durchdringen kann. Dadurch kann die Münze in Ihrer Hand vom Magneten in der Streichholzschachtel angezogen werden, ohne dass das Publikum etwas bemerkt.

## 5.2 Nicht-magnetische Münzen mit einem Magneten bewegen

### MINT-Thema

Paramagnetismus, elektromagnetische Induktion, Lenz'sche Regel

### Materialien

#### Aktivität 1

- eine japanische Yen-Münze aus Aluminium (oder ein Aluminium-Verschlussring von Getränkedosen oder ein Stück stärkere Aluminiumfolie zum Grillen)
- ein dünner Faden
- ein Neodym-Magnet

#### Aktivität 2

- mehrere japanische Yen-Münzen aus Aluminium (oder Aluminium-Verschlussringe von Getränkedosen oder Stücke stärkere Aluminiumfolie zum Grillen)
- ein Neodym-Magnet

### Beschreibung – So geht's

#### Aktivität 1

Für das erste Experiment binden Sie eine japanische Yen-Münze aus Aluminium an einen dünnen Faden. Halten Sie einen Neodym-Magneten neben die Yen-Münze und beobachten Sie die sehr leichte Anziehung (Bild 1).

Bewegen Sie den Magneten schnell von der hängenden Münze weg, und sobald die Münze wieder ruhig hängt, schnell zu ihr hin. Beobachten Sie die Anziehung und Abstoßung (Bild 2).

**Aktivität 2**

Für das zweite Experiment stapeln Sie mehrere Yen-Münzen zu einem Turm. Halten Sie einen Neodym-Magneten auf den Münzturm und heben Sie ihn schnell an (Bild 3). Beobachten Sie, wie viele Yen entfernt werden können (Bild 4).

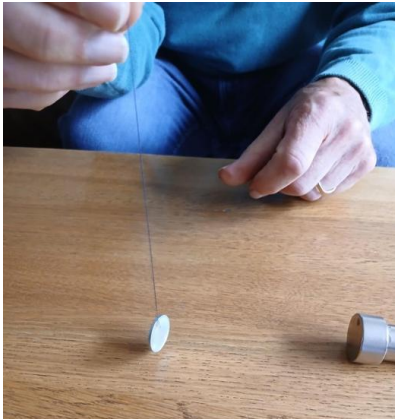


Bild 1: Yen-Münze an einem Faden



Bild 2: Leichte Anziehung



Bild 3: Den Magneten über den Münzturm halten



Bild 4: Wie viele Münzen konnten entfernt werden?

**Erklärung und Hintergrund**

Aluminium ist paramagnetisch, das heißt, es wird von einem starken Magneten nur sehr schwach angezogen.

Ferromagnetismus ist eine Eigenschaft von Stoffen, welche sich wie Eisen (von lat. „*ferrum*“) verhalten und deutlich stärker als Paramagnetismus. Ferromagnetische Materialien zeigen eine starke, dauerhafte Anziehungskraft gegenüber Magneten, die mehr oder weniger bestehen bleibt, auch wenn das äußere Magnetfeld entfernt wird. Paramagnetische Materialien haben nur eine schwache, vorübergehende Anziehungskraft gegenüber Magneten und verlieren ihre Magnetisierung, sobald das äußere Magnetfeld entfernt wird.

Wird ein Magnet neben einem leitfähigen Material bewegt, werden in diesem Material elektrische Ströme, so genannte Wirbelströme, induziert. Diese erzeugen wiederum ein Magnetfeld, welches der ursprünglichen Bewegung entgegenwirkt. Wenn man also den Magneten von den Yen-Münzen wegbewegt, werden Ströme induziert, die die Münzen ein klein wenig zum Magneten hinziehen. Bewegt man den Magneten auf eine schwebende Yen-Münze zu, wird diese abgestoßen.

Wird ein Magnet schnell von dem Turm aus Yen-Münzen entfernt, werden die obersten paar Yen angezogen und aus dem Stapel herausgehoben. Je schneller der Magnet bewegt wird, desto mehr Yen können entfernt werden. Die geringen Kräfte reichen aus, um die sehr leichten Yen zu bewegen, denn sie haben eine Masse von nur 1 g.

## 5.3 Induzierter Magnetismus I – Magnetische Skulpturen

### MINT-Thema

Magnetische Influenz (auch induzierter Magnetismus genannt)

### Materialien

- mehrere magnetische Münzen
- ein oder mehrere leistungsstarke Neodym-Magneten, die etwa 20-30 kg halten können



### Sicherheitshinweis für die Arbeit mit starken Magneten

Beachten Sie bitte unbedingt die einschlägigen Sicherheitsvorschriften!

Insbesondere bei Träger\*innen von Herzschrittmachern oder implantierten Defibrillatoren können die Geräte in einen festen Betriebsmodus versetzt oder Defibrillatoren temporär ausgeschaltet werden, solange sich ein starker Magnet in der Nähe des implantierten Geräts befindet.

Kreditkarten, Datenträger, Hörgeräte, RFID-Karten u.a. können durch sehr starke Magnetfelder in ihrer Funktion beeinträchtigt oder zerstört werden.

### Beschreibung – So geht's

Bauen Sie aus den Münzen verschiedene Muster und Skulpturen auf dem Magneten auf (Beispiele in den Bildern 1 bis 4). Probieren sie aus, ob Sie auch bewegliche Skulpturen erzeugen können.



Bild 1: Münzpyramide



Bild 2: Münzbrücke



Bild 3: Hängende Münzen

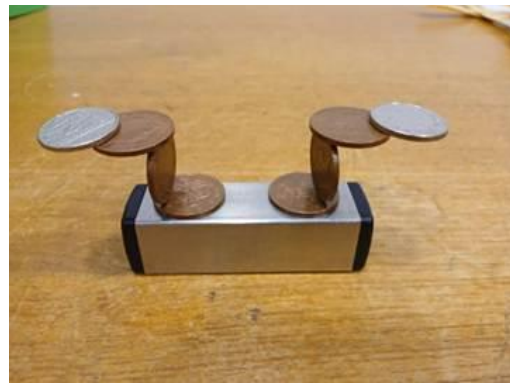


Bild 4: Skulptur aus Münzen

### Erklärung und Hintergrund

Wenn die Münzen in ein Magnetfeld gebracht werden, magnetisieren sie sich selbst und können daher magnetische Anziehungs- und Abstoßungskräfte erfahren. Viele neuere Münzen bestehen mittlerweile aus magnetischem Material wie Stahl, da dies kostengünstiger ist als Metallegierungen, die früher verwendet wurden.

### Erweiterungen

Wie kann die Größe der Kraft zwischen hängenden Münzen gemessen werden? Nimmt sie linear ab, wenn man sich vom Magneten entfernt? Welches Gerät kann man verwenden? Das Gerät darf selbst nicht magnetisch sein, um eine korrekte Messung zu gewährleisten. Lassen Sie Ihre Klasse Ideen entwerfen.

## 5.4 Magnetische Mysterien

### MINT-Thema

Magnetische Kräfte, magnetische Influenz (auch induzierter Magnetismus genannt)

## Materialien

- mehrere ferromagnetische Münzen
- ein langes, flaches Kunststofflineal
- ein starker Magnet
- 2 gleich große Kisten oder andere Gegenstände, die stabil stehen

## Beschreibung – So geht's

1. Stellen Sie die beiden gleich großen Kisten auf und legen Sie das Lineal wie eine Brücke über sie. Legen Sie den Magneten auf das Lineal.
2. Platzieren Sie eine Münze an die Unterseite des Lineals, sodass das Magnetfeld sie hält (Bild 1). Die Vorderseite der Münze soll in Richtung der Zuschauer\*innen zeigen.

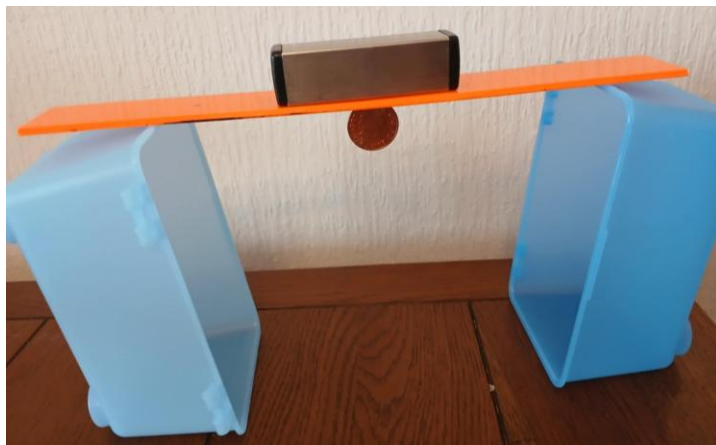


Bild 1: Versuchsaufbau

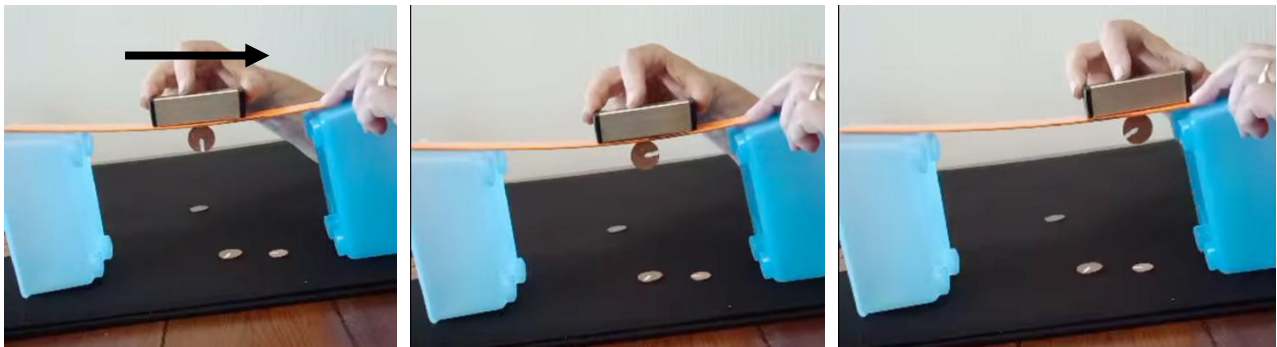
3. Schieben Sie den Magneten vorsichtig auf dem Lineal nach rechts. Was wird mit der Münze passieren? Wird sie...
  - a) herunterfallen
  - b) sich im Uhrzeigersinn drehen
  - c) sich gegen den Uhrzeigersinn drehen
  - d) nach rechts gleiten, ohne zu drehen

4. Fügen Sie unter der ersten eine zweite Münze hinzu. Was wird mit der zweiten Münze passieren?  
Wird sie...

- a) herunterfallen
- b) sich im Uhrzeigersinn drehen
- c) sich gegen den Uhrzeigersinn drehen
- d) nach rechts gleiten, ohne zu drehen

### Was passiert?

Wenn der Magnet nach rechts geschoben wird, dreht sich die Münze unter dem Lineal gegen den Uhrzeigersinn (Bilder 2 bis 4).



Bilder 2 bis 4: Die Münze dreht sich gegen den Uhrzeigersinn. Die weiße Markierung verdeutlicht die Drehrichtung.

Wenn eine zweite Münze hinzugefügt wird, dreht diese sich im Uhrzeigersinn, wenn der Magnet nach rechts geschoben wird (Bilder 5 bis 7).

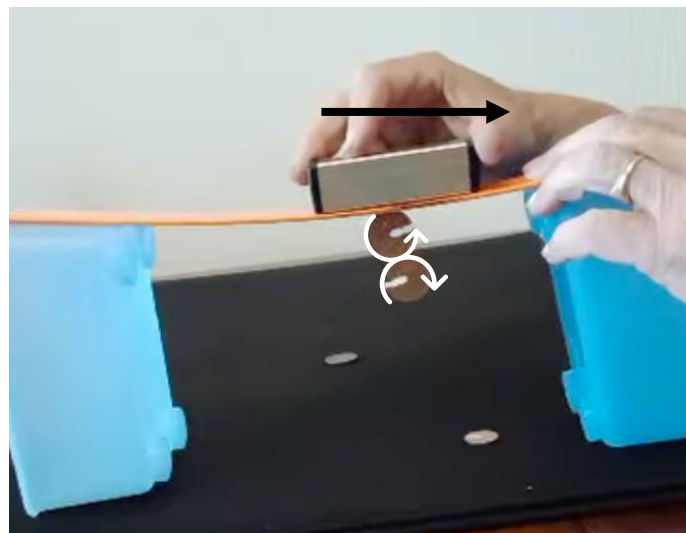


Bild 5: Drehrichtung der beiden Münzen



Bilder 6 und 7: Die weiße Markierung verdeutlicht die Drehrichtungen der beiden Münzen.

### Erklärung und Hintergrund

Die Erklärung für dieses Phänomen ist eine Kombination aus magnetischer Influenz und der Induktion von Wirbelströmen. Auch die Reibungskräfte zwischen den Rändern der Münzen spielen eine Rolle.

### Erweiterungen

Fügen Sie eine weitere Münze hinzu und untersuchen Sie ihre Drehrichtung (Bild 8).

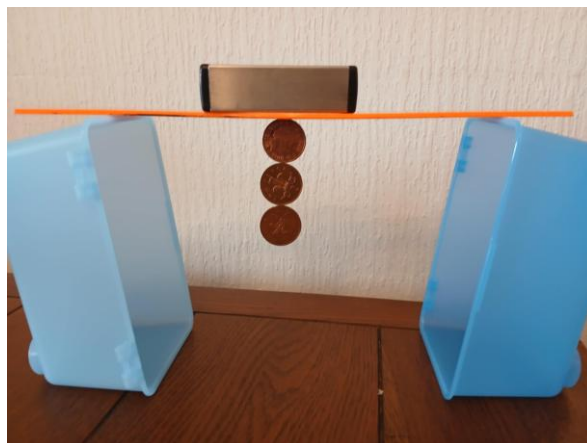


Bild 8: Welche Münzen drehen in die gleiche Richtung??

Noch mehr Rotation! Fügen Sie eine weitere Münze hinzu, sodass Sie fast die Grenze dessen erreichen, was der Magnet halten kann.

Schnipsen Sie die unterste Münze so an, dass sie kreiselt (Bilder 9 bis 11).

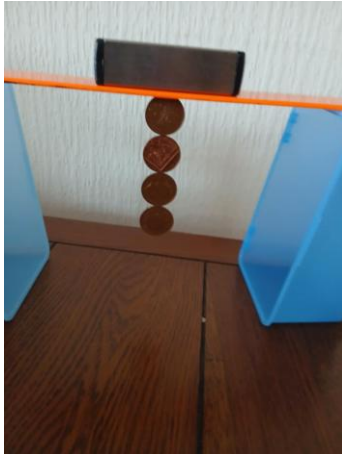


Bild 9: Vier hängende Münzen

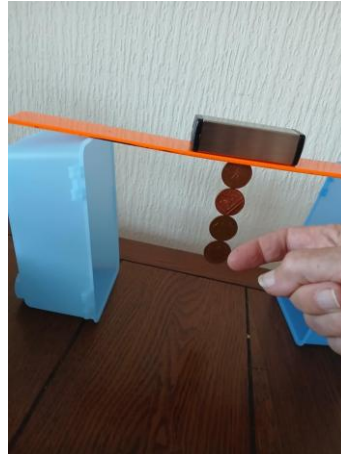


Bild 10: Die Münze anschnipsen



Bild 11: Die Münze kreiselt

Die unterste Münze lässt sich einfach kreiseln, da zwischen ihr und der Münze darüber kaum Reibung herrscht und der induzierte Magnetismus sie nur locker festhält.

## 5.5 Induzierter Magnetismus II – Münzpaare

### MINT-Thema

Induzierter Magnetismus, kontaktlose Kräfte

### Materialien

- mindestens ein starker Magnet
- mindestens 2 magnetische Münzen

### Beschreibung – So geht's

Stellen Sie zwei Münzen aufrecht übereinander auf den Magneten. Die Münzen bleiben stehen, weil das Magnetfeld die Kräfte nach oben leitet (Bild 1).

Versuchen Sie nun, die obere Münze anzuheben. Werden sich beide Münzen gemeinsam anheben lassen oder werden sie sich trennen und die untere Münze am Magneten haften bleiben?

Die Münzen bleiben als Paar zusammen und lösen sich gemeinsam vom Magneten (Bild 2). Sie halten sich also gegenseitig fest, anstatt dass die untere Münze von dem starken Magneten gehalten wird.



Bild 1: Die Münzen stehen aufrecht im Magnetfeld.



Bild 2: Das induzierte Magnetfeld hält die Münzen zusammen.

## Erklärung und Hintergrund

Wenn unsere Münzen in ein Magnetfeld gebracht werden, werden sie magnetisch beeinflusst. Da Magnetismus eine Wirkung im Raum ist, wird auch im Raum ohne direkten Kontakt eine magnetische Kraft auf einen ferromagnetischen Körper ausgeübt. Magnetische Influenzierung und (permanente) Magnetisierung sind unterschiedliche Prozesse.

Die Münzen bleiben zusammen, da das Magnetfeld zwischen den beiden Münzen größer ist als zwischen der Münze und dem Magneten. Dort liegen die Feldlinien weiter auseinander (Bild 3).

Die Abbildung 3 zeigt, wie die Feldlinien durch die beiden Münzen laufen und diese durch die magnetische Anziehungskraft des Magneten aneinander gehalten werden.

## Erweiterungen

Das Experiment kann mit mehr als zwei Münzen oder mit unterschiedlich großen Münzen durchgeführt werden, sofern sie ferromagnetisch sind. Auch kleine, nicht permanent magnetisierte ferromagnetische Münzen können verwendet werden, weil die Münzen magnetisch beeinflusst und dabei zusätzlich mehr oder weniger stark permanent magnetisiert werden.

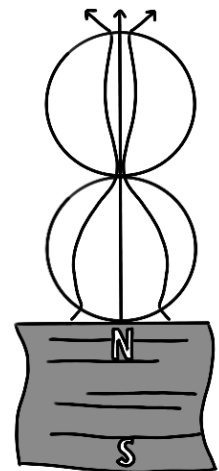


Bild 2: Magnetische Feldlinien  
(Die Feldlinien, die oben austreten, laufen außen wieder zum Südpol zurück.)

## 5.6 Die schwimmende Münze

### MINT-Thema

Dichte, Oberflächenspannung, Dia- und Paramagnetismus

### Materialien

- eine japanische Yen-Münze aus Aluminium (oder ein Stück Aluminiumfolie)
- ein Neodym-Magnet
- ein mit Wasser gefüllter Teller oder Gefäß
- optional: Spülmittel (für die Erweiterung)

### Beschreibung – So geht's

1. Legen Sie eine japanische Yen-Münze aus Aluminium in einen mit Wasser gefüllten Teller.
2. Halten Sie einen Neodym-Magneten knapp über dem Wasser neben der Münze.
3. Halten Sie den Magneten zunächst ruhig, danach bewegen Sie ihn neben der Münze.



Bild 1: Der Magnet neben der schwimmenden Münze



Bild 2: Der Magnet und die Yen-Münze im Wasser

## Erklärung und Hintergrund

Das Experiment lässt sich anhand von drei physikalischen Phänomenen erklären.

- **Diamagnetismus:**  
Wenn der Magnet über dem Wasser gehalten wird, wird zunächst das Wasser abgestoßen, wodurch sich eine leichte Vertiefung bildet, in die die Münze hineinschwimmt. Wasser ist schwach diamagnetisch; das bedeutet, dass es von einem starken Magnetfeld abgestoßen wird.
- **Paramagnetismus:**  
Aluminium ist schwach paramagnetisch, was bedeutet, dass die Yen-Münze vom starken Magnetfeld schwach angezogen wird und sich daher langsam auf den Magneten zubewegt.
- **Induktion:**  
Das Bewegen des Magneten neben der Münze induziert elektrische Ströme in der Münze. Diese Ströme wirken der Bewegung entgegen, die sie erzeugt (Lenz'sche Regel). Das Wegbewegen des Magneten zieht die Münze daher an, das Annähern des Magneten stößt sie ab.

## Erweiterung

In diesem Experiment schwimmt die Yen-Münze aus Aluminium auf dem Wasser – genau genommen wird sie von den Oberflächenspannungskräften auf der Wasseroberfläche gehalten. Was passiert, wenn Sie einen Tropfen Spülmittel in das Wasser hinzugeben?

## 6 MATHEMATIK

In diesem Kapitel finden Sie Anwendungsbeispiele aus der Mathematik.

### 6.1 Die Reise um die Münze

#### MINT-Thema

Geometrie, Kreisumfang, Radius

Die Geometrie lehrt uns, dass der Umfang eines Kreises in direktem Zusammenhang mit seinem Radius steht:

$$U = 2 \pi r$$

#### Materialien

- 2 identische Münzen (oder Zahnräder)

#### Beschreibung – So geht's

Wie oft dreht sich eine Münze, wenn sie um eine andere Münze herum gerollt wird?

Wenn die beiden Münzen gleich groß sind, könnte man zunächst denken, dass die bewegte Münze eine volle Umdrehung macht, während sie einmal um die liegende Münze herumrollt.



Bild 1: Zwei gleiche Münzen



Bilder 2 bis 4: Die bewegte Münze wird um die liegende Münze herum gerollt.

1. Legen Sie eine Münze auf den Tisch.
2. Nehmen Sie eine zweite gleiche Münze und legen Sie diese Rand an Rand an die erste Münze an.
3. Rollen Sie die zweite Münze langsam ganz um die liegende Münze, wobei die Ränder in Kontakt bleiben.
4. In Bild 2 sehen Sie, dass die bewegte Münze bei einem Viertel ihres Weges eine halbe Umdrehung gemacht hat.
5. Zählen Sie, wie viele volle Umdrehungen die bewegte Münze macht, bevor sie zu ihrem Ausgangspunkt zurückkehrt.

## Erklärung und Hintergrund

Auf den ersten Blick könnte man denken, die bewegte Münze würde sich nur einmal drehen, weil die Strecke, die sie um die liegende Münze rollt, ihrem eigenen Umfang entspricht. Das ist jedoch nicht alles.

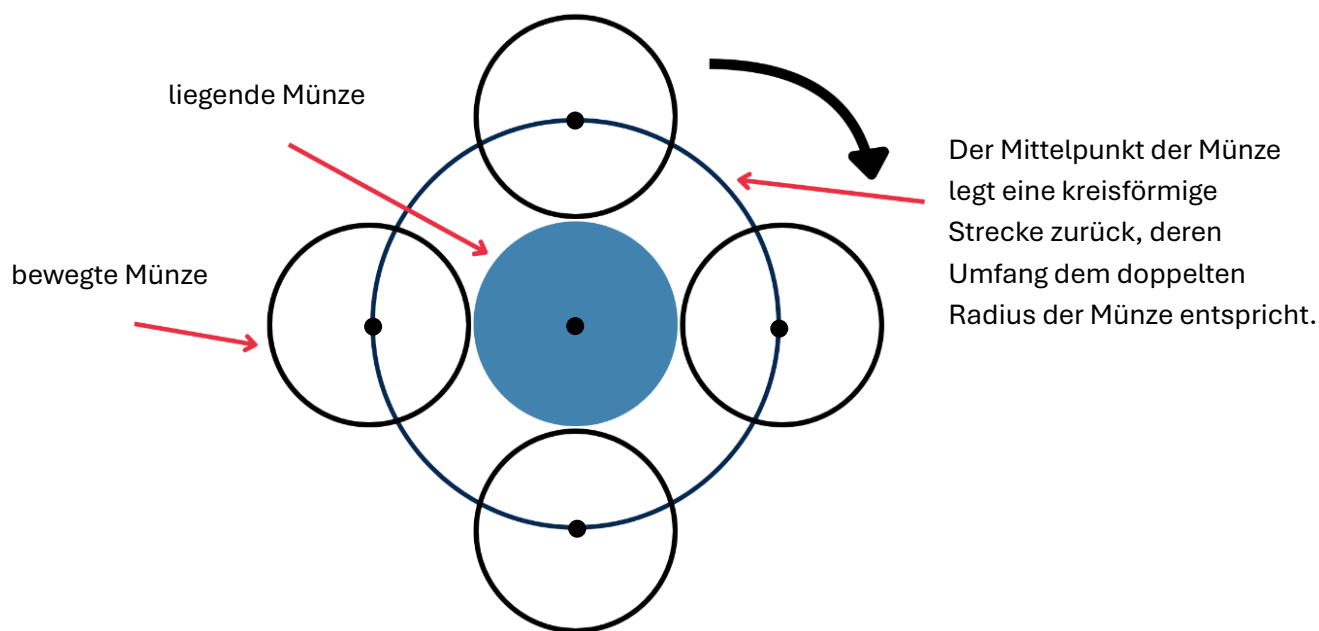
- Während die bewegte Münze gerollt wird, macht sie aufgrund der zurückgelegten Strecke, die ihrem Umfang entspricht, eine volle Umdrehung.
- Aber sie macht auch eine volle Umdrehung, weil sie sich außen um die liegende Münze herum dreht.

Insgesamt macht die Münze **zwei vollständige Umdrehungen**.

Der Umfang der bewegten Münze selbst beträgt  $2\pi r$ .

Wenn sie also in einer geraden Linie auf einer Oberfläche rollen würde, um eine Strecke von  $4\pi r$  zurückzulegen:

$$\text{Anzahl der Umdrehungen} = \frac{\text{zurückgelegte Strecke}}{\text{Umfang der Münze}} = \frac{4\pi r}{2\pi r} = 2$$



Andere Betrachtungsweise:

Der Mittelpunkt des bewegten bzw. äußeren Kreises bewegt sich auf einem Kreis vom doppelten Radius der kleinen Kreise, also einer Münze.

## 6.2 Masse und Volumen – Bestimmung der Dichte der Münze

### MINT-Thema

Masse, Volumen, Dichte, Graphen zeichnen

Mit Graphen bzw. Schaubildern lassen sich Ergebnisse zusammenfassen, zukünftige Werte vorhersagen (Extrapolation) und komplexe mathematische Zusammenhänge nachvollziehen. Deshalb sind sie sowohl in der theoretischen als auch in der experimentellen Arbeit unverzichtbare Hilfsmittel.

### Materialien

- 10 identische Münzen
- eine digitale Waage
- ein Messzylinder mit Wasser

### Beschreibung – So geht's

#### 1. Masse messen:

Messen Sie mit einer digitalen Waage die Masse von bis zu zehn gleichen Münzen. Messen Sie erst die Masse von einer, dann zwei, dann drei Münzen usw.

#### 2. Volumen bestimmen – Methode A (Geometrie):

Betrachten Sie die Münze als Zylinder und berechnen Sie das Volumen mit

$$V = \pi r^2 h$$

wobei  $r$  der Radius und  $h$  die Dicke ist.

Berechnen Sie auch hier das Volumen von einer, dann zwei, dann drei Münzen usw.

#### 3. Volumen bestimmen – Methode B (Wasserverdrängung):

Füllen Sie einen Messzylinder mit Wasser und notieren Sie das Volumen. Geben Sie die Münzen vorsichtig in das Wasser und messen Sie das neue Volumen. Die Differenz ergibt das Volumen der Münzen.

Bestimmen Sie auch hier das Volumen von einer, dann zwei, dann drei Münzen usw.

#### 4. Tragen Sie die Werte für die **Masse (senkrechte Achse)** und das **Volumen (waagerechte Achse)** für ein, zwei, drei, ... Münzen in ein Diagramm ein.

#### 5. Zeichnen Sie die Ausgleichsgerade ein und bestimmen Sie deren Steigung.

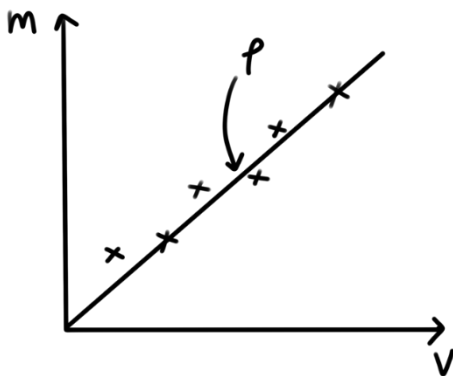
### Erklärung und Hintergrund

Die Masse eines Körpers ist direkt proportional zu seinem Volumen, wenn er aus einem homogenen Material besteht. Die Proportionalitätskonstante ist die **Dichte ( $\rho$ )**:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

Wenn man **Masse ( $m$ )** gegen **Volumen ( $V$ )** darstellt, entspricht die **Steigung dieser Geraden** der Dichte des Materials. Die Gerade zeigt die Proportionalität zwischen Masse und Volumen. Die Steigung der Geraden entspricht der **Dichte**:

$$\text{Steigung} = \frac{\Delta m}{\Delta V} = \rho$$



Durch den Vergleich der experimentell ermittelten Dichte mit bekannten Werten (bspw. Kupfer  $\approx 8,96 \frac{g}{cm^3}$ , Aluminium  $\approx 2,70 \frac{g}{cm^3}$ , Stahl  $\approx 7,85 \frac{g}{cm^3}$ ) lässt sich abschätzen, aus welchen Materialien oder Legierungen die Münzen bestehen.

## 6.3 Glück im Spiel? – Untersuchung von Münzwürfen

### MINT-Thema

Glücksspiele, Wahrscheinlichkeiten

Glücksspiele, bei denen es um viel Geld geht, sind oft illegal, so z.B. Hütchenspiele auf der Straße oder Pokerspiele in dunklen Hinterzimmern. Es gibt aber auch legale Glücksspiele, meist erst für Personen ab 18 oder 21 Jahren, wie z.B. Lotto oder Roulette in Spielbanken.

Bei Roulette in einer Spielbank ist das wichtigste der Roulette-Kessel (Bild 1). Dabei handelt es sich um ein Hochpräzisionsgerät, welches bis ins kleinste Detail verschiedenen, auch staatlichen Kontrollen unterliegt. Kurz gesagt ist es erforderlich, dass jedes Feld mit den Zahlen von 0 bis 36 gleich wahrscheinlich ist, was nicht heißt, dass an einem Abend jede der Zahlen gleich oft vorkommen muss.

Wir wollen uns mit einem einfacheren Glücksspiel beschäftigen: dem Wurf einer Münze.



Bild 1: Eine Spielbank mit Roulette-Tisch

(Bild von Ralf Roletschek, CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons,  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:13-02-27-spielbank-wiesbaden-by-RalfR-032.jpg>)

## Materialien

- 100 1-Euro-Cent-Münzen
- Stift und Papier zum Ausfüllen der Tabellen
- ein Tisch (für Aktivität 3)

## Worum geht es?

Im Altertum und Mittelalter wurden Münzen mit der Hand gefertigt. Man kann sie in Museen anschauen und wird leicht erkennen, dass nicht zu erwarten ist, dass sie auf beide Seiten (meist Kopf und Zahl genannt) gleich oft fallen werden.

Heute sind Münzen in Deutschland und der ganzen EU Massenware. Sie werden in Münzanstalten massenweise geprägt, quasi am Fließband. Allerdings sind sie durch die Prägungen auf beiden Seiten nicht ganz symmetrisch. Die deutsche 1-Cent-Münze ist am Eichenlaub auf der Rückseite zu erkennen (Bild 3); die Vorderseite ist bei allen Staaten der Eurozone gleich (Bild 2).



Bild 2: Vorderseite 1-Euro-Cent-Münze

(Bild von Europäische Zentralbank - Europäische Zentralbank, PD-Amtliches Werk, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=6895647>)



Bild 3: Rückseite deutsche 1-Cent-Münze

(Bild von Bundesministerium der Finanzen - Europäische Zentralbank, PD-Amtliches Werk, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=7333158>)



Bild 4: Rückseite griechische 1-Cent-Münze

(Bild von Von Τράπεζα της Ελλάδος (Bank von Griechenland) - Europäische Zentralbank, PD-Amtliches Werk, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=6229238>)

Bei Fußballspielen, bei denen am Ende ein Sieger und ein Verlierer feststehen muss, gab es bis ca. 1970 folgende Regelung: Steht das Spiel am Ende der regulären Spielzeit unentschieden (z.B. 0:0 oder 2:2), so gibt es eine Verlängerung. Steht das Spiel dann am Ende der regulären Verlängerung immer noch unentschieden, so wird der Sieger durch Los oder den Wurf einer Münze ermittelt oder das Spiel wird wiederholt. Münzwurf oder Los wurden später durch das Elfmeterschießen ersetzt. Elfmeterschießen gab es auch bei Fußballweltmeisterschaften und Europameisterschaften.

**Aufgabe:** Die Schüler\*innen sollen darüber diskutieren, wie fair sie einen Münzwurf statt des Elfmeterschießens finden.

## Beschreibung – So geht's

### Aktivität 1: Untersuchung des Wurfs einer einzelnen Münze

1. Jede\*r Schüler\*in wirft **dieselbe** Münze 100-mal und schreibt auf, wie oft sie auf Zahl „1“ fiel.  
Unterschiedliche Münzen könnten sich u.a. aufgrund ihrer Abnutzung unterschiedlich verhalten.
2. Das Ergebnis wird in der folgenden Tabelle festgehalten:

| Tabelle 1: N Schüler*innen werfen dieselbe Münze 100-mal. |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Anzahl „1“ <sub>i</sub>                                   | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 |
| Häufigkeit h <sub>i</sub>                                 |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |

Mittelwert:  $(h_{45} \times 0,45 + h_{46} \times 0,46 + h_{47} \times 0,47 + \dots + h_{55} \times 0,55) : N = \underline{\hspace{2cm}}$

**Hinweis:** Die Tabelle muss ggf. um Werte unter 45 bzw. über 55 erweitert werden, ebenso die Formel.  
Durch die Schülerzahl N wird beim Mittelwert dividiert.

**Frage:** Wie unterschiedlich verhalten sich einzelne Münzen? Denken Sie dabei auch daran, dass manchmal vom Münzwurf „wichtige“ Entscheidungen abhängen.

### Aktivität 2: Untersuchung von jeweils zehn Münzen

1. Die Schüler\*innen werden in zehn Gruppen eingeteilt, die jeweils zehn Münzen erhalten.
2. Diese werden gemeinsam 20-mal geworfen.
3. Das Ergebnis wird in der folgenden Tabelle festgehalten:

| Tabelle 2: Schüler*innen werfen zehn Münzen gemeinsam. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|--------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Anzahl „1“                                             | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Strichliste                                            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Häufigkeit                                             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| rel. Häufigkeit                                        |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

**Hinweis:** Die Häufigkeit ist gleich der Anzahl der Striche darüber.  
Die relative Häufigkeit ist die (absolute) Häufigkeit dividiert durch die Zahl der Versuche (hier 20).

### Aktivität 3: Untersuchung von jeweils zehn Münzen beim Kippen

1. Die Schüler\*innen bleiben in zehn Gruppen eingeteilt mit denselben zehn Münzen.
2. Die Münzen werden hochkant auf den Tisch gestellt (Bild 5).

3. Jetzt wird am Tisch gerüttelt, sodass alle Münzen umfallen (Bilder 6 und 7).  
Dies wird insgesamt 20-mal gemacht.
4. Das Ergebnis wird in der folgenden Tabelle festgehalten:

| Tabelle 3: Schüler*innen werfen 10 Münzen gemeinsam durch Rütteln um. |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|-----------------------------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Anzahl „1“                                                            | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Strichliste                                                           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| Häufigkeit                                                            |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| rel. Häufigkeit                                                       |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

**Frage:** Ist ein Unterschied zwischen den Werten in den Tabellen 2 und 3 erkennbar?



Bild 5: 50 Münzen aufgestellt auf dem Tisch



Bild 6: Die umgefallenen Münzen



Bild 7: Köpfe und Zahlen zählen

*Dieses Experiment stammt von Peter Batzer, Science on Stage Deutschland.*

# VERSCHIEDENE EXPERIMENTE

Dieses Kapitel enthält verschiedene Experimente zu unterschiedlichen Themen.

## 6.4 Der balancierende Geldschein

### MINT-Thema

Schwerpunkt (Massemittelpunkt)

Dieses Experiment ist ein Zaubertrick!

### Materialien

- ein Geldschein
- eine Münze

### Beschreibung – So geht's

Sie benötigen einen Geldschein, der sich leicht falten lässt. Falten Sie ihn dreifach längs.

Schieben Sie eine versteckte Münze in das eine Ende des gefalteten Scheins, ohne dass Ihre Klasse es bemerkt.

Balancieren Sie das Ende mit der Münze auf Ihrem Finger und lassen Sie das andere Ende frei schweben (Bilder 1 bis 4).



Bilder 1 bis 4: Schritt-für-Schritt-Anleitung zum Falten des Geldscheins

### Erklärung und Hintergrund

Der Geldschein scheint deutlich außerhalb seines Schwerpunkts zu balancieren, da die versteckte Münze nicht zu sehen ist. Die Münze verlagert den Schwerpunkt über den Finger.

### Erweiterungen

Was für Figuren können Sie noch aus Papier und ein paar Münzen basteln, die überraschenderweise im Gleichgewicht bleiben?

Bei einer menschlichen oder tierischen Figur können Sie zwei Münzen an den Armen bzw. Flügeln befestigen, um den Schwerpunkt unter einen Drehpunkt zu senken (Bilder 5 und 6). Alternativ können Sie Büroklammern statt Münzen nutzen. Die Figur lässt sich bspw. auf einem Stab balancieren (Bild 7).

Verschiedene Schreibtischspielzeuge verwenden das gleiche Prinzip, bei dem der Schwerpunkt unterhalb des Drehpunkts liegt (Bild 8).



Bild 5: Die Münzen an den Flügeln des Schmetterlings



Bild 6: Den Schmetterling balancieren



Bild 7: Büroklammern statt Münzen



Bild 8: Schreibtischspielzeuge

## 6.5 Der Geldschein und die springenden Büroklammern

### MINT-Thema

Topologie, chemische Reaktionen, Katalysator, Modellexperimente

Dieser Zaubertrick kann als Modellexperiment genutzt werden, um zu zeigen, dass die Oberfläche eines Katalysators zwei Reaktanten so nahe zusammenbringt, dass es zu einer chemischen Reaktion kommt.

### Materialien

- ein Geldschein
- 2 Büroklammern

### Beschreibung – So geht's

Sie benötigen zwei Büroklammern. Diese stehen für zwei verschiedene Reaktionspartnermoleküle. Wenn Moleküle (hier: Büroklammern) mit ausreichender Energie (mindestens die Aktivierungsenergie) und geeigneter Orientierung zusammenstoßen, kommt es zu einer chemischen Reaktion. Das bedeutet, dass vorhandene Bindungen in den Molekülen aufgebrochen und neue gebildet werden. Dies können Sie veranschaulichen, indem Sie die Büroklammern ineinander verhaken.

Lösen Sie die Büroklammern wieder voneinander und klammern Sie sie an einen gefalteten Geldschein, der als Modell für einen Katalysator dient. Ein Katalysator beschleunigt eine Reaktion, indem er einen alternativen Reaktionsweg ermöglicht, der im Vergleich weniger Aktivierungsenergie benötigt. Bei einem Feststoffkatalysator (hier: Geldschein) binden die Eduktmoleküle (hier: Büroklammern) an seine Oberfläche. Dadurch werden die Bindungen in den Eduktmolekülen geschwächt. Die räumliche Nähe und geeignete Orientierung der Moleküle erleichtert die Bildung neuer Bindungen. Wenn man den Geldschein glattzieht, springen die Büroklammern ab und verhaken sich ineinander – ein Beweis dafür, dass der Katalysator gewirkt hat!

**Hinweis:** Dieser Trick eignet sich nicht nur zur Veranschaulichung der heterogenen Katalyse, sondern vor allem zur Diskussion über die Grenzen von Modellen bzw. Modellexperimenten. Was zeigt das Modell gut (Adsorption der Reaktanten auf der Oberfläche Katalysatoroberfläche, alternativer Reaktionsweg), weniger gut (Katalysatoren gehen unverändert aus der chemischen Reaktion hervor) oder gar nicht (Selektivität von Katalysatoren, unterschiedliche Aktivierungsenergie der beiden Reaktionswege).

1. Nehmen Sie einen Geldschein und falten Sie ihn in eine S-Form (Bild 1).
2. Setzen Sie eine Klammer auf die Vorderseite des Scheins und die erste Falte der S-Form, um diese zu verbinden. Setzen Sie die zweite Büroklammer auf die zweite Falte der S-Form und die hintere Seite des Scheins, um diese zu verbinden (Bild 2).
3. Nun folgt der magische Moment: Halten Sie die Enden des Geldscheins fest (Bild 2) und ziehen Sie sie auseinander, um den Schein zu entfalten und die Büroklammern abspringen zu lassen.

**Anleitung:** Siehe *The Science Behind Magic*, Video “Linking Paperclips catalyst demo”:

[https://youtu.be/3m8Je\\_jpfOY](https://youtu.be/3m8Je_jpfOY)



Bild 1: Den Geldschein in eine S-Form falten



Bild 2: Büroklammern in die Falten des Geldscheins setzen

*Diese Idee stammt von Paul Nugent, Science on Stage Irland. Er hat die Idee 2021 in einem Webinar bei Science on Stage vorgestellt.*

## 6.6 Die Murmel und die Münze

### MINT-Thema

Balancieren, Drehen

### Materialien

- eine durchsichtige Flasche
- eine leichte Münze, deren Durchmesser knapp größer ist als die Flaschenöffnung (bspw. 5 Cent, 1 Yen, eine DDR-Münze aus Aluminium oder ein Einkaufschip aus Kunststoff)
- eine Murmel, die durch die Öffnung in die Flasche passt
- Papier
- transparente Plastikfolie

### Beschreibung – So geht's

Rollen Sie das Papier und die transparente Plastikfolie jeweils zu einer Röhre auf, die gerade über den Flaschenhals passt (Bild 1).

Legen Sie die Münze flach auf die Flaschenöffnung (Bild 2).



Bild 1: Die benötigten Materialien



Bild 2: Die Münze auf der Flaschenöffnung

Stecken Sie die Papierröhre über den Flaschenhals, sodass die Münze nicht sichtbar ist.

Nehmen Sie die Murmel und lassen Sie diese in die Röhre auf die Flaschenöffnung mit der Münze fallen (Bild 3).

Die Murmel fällt auf mysteriöse Weise in die Flasche, wobei die Münze unberührt scheint (Bild 4).



Bild 3: Bereit die Murmel fallenzulassen



Bild 4: Die Murmel in der Flasche, die Münze auf der Öffnung

Wiederholen Sie das Experiment mit der transparenten Röhre, damit der Vorgang sichtbar wird (Bilder 5 und 6).



Bild 5: Versuchsaufbau mit transparenter Röhre



Bild 6: Die Murmel in der Flasche

Schauen Sie genau auf die Münze – oft hat sich diese auf mysteriöse Weise umgedreht (Bilder 7 und 8).



Bild 7: Die Münze zu Beginn



Bild 8: Die Münze am Ende

**Zeitlupenvideo:** Siehe *The Science Behind Magic*, Video “Slowmotion - Marble and coin trick”:

<https://youtube.com/shorts/7MJ2n59fBP4>

### Erklärung und Hintergrund

Wenn die Murmel auf die Münze trifft, springt diese hoch und dreht sich auf dem Flaschenrand. Sie dreht sich so weit, dass die Murmel durch die Öffnung in die Flasche gelangt. Die Münze fällt in der Röhre wieder auf die Flaschenöffnung herunter, nachdem sie sich entweder vollständig oder um eine halbe Umdrehung gedreht hat (Bilder 7 und 8).

**Erklärvideo:** Siehe *L'atelier de Romano*, Video „Ce tour de magie est incroyable“:

<https://youtube.com/shorts/kuBGgE-fHNw>

### Erweiterung

Die Schüler\*innen können die Faktoren untersuchen, welche die Drehung beeinflussen: das Gewicht der Murmel, die Fallhöhe, das Gewicht der Münze.

## 6.7 Die Münze auf dem Streichholz

### MINT-Thema

Kapillarwirkung

### Materialien

- eine leere Flasche
- eine Münze
- ein Streichholz oder ein Zahnstocher

### Beschreibung – So geht's

Knicken Sie ein hölzernes Streichholz oder einen Zahnstocher in der Mitte und legen Sie ihn auf eine Flaschenöffnung. Legen Sie eine Münze auf das Streichholz. Die Münze liegt nun direkt über der Flaschenöffnung (Bild 1).

### Aufgabe

Können Sie die Münze in die Flasche fallen lassen, ohne das Streichholz oder die Münze zu berühren?

**Hinweis:** Ein kleiner Tropfen kann einen großen Unterschied machen.

### Erklärung und Hintergrund

Holz ist porös und nimmt Wasser auf. Wenn man einen Wassertropfen auf die geknickte Stelle des Streichholzes gibt, beginnen die Fasern zu quellen.

Da das Holz das Wasser aufnimmt, beginnt sich der Knick langsam zu öffnen. Da die Münze auf dem gebogenen Streichholz aufliegt, führt diese Bewegung dazu, dass sich das Streichholz begradigt, wodurch die Münze das Gleichgewicht verliert und in die Flasche fällt.

*Dieses Experiment stammt von Nuria Molina, Science on Stage Spanien.*



Bild 1: Versuchsaufbau

## 6.8 Der Flaschengeist

### MINT-Thema

Gasausdehnung, Gasgesetze, Eigenschaften von Luft

### Materialien

- eine leere Glasflasche
- eine Münze, die die Flaschenöffnung vollständig abdeckt
- optional: ein Luftballon, heißes Wasser, kaltes Wasser (für die Erweiterung)

**Beschreibung – So geht's**

1. Sie benötigen eine kalte, leere Glasflasche. Bereiten Sie die Flasche vor, indem Sie sie in den Kühlschrank legen oder kurz mit kaltem Wasser füllen.
2. Legen Sie eine Münze auf die Öffnung der leeren Glasflasche, sodass die Öffnung vollständig abgedeckt ist (Bilder 1 und 2). Wenn Sie die Münze vorher anfeuchten, haftet sie besser auf dem Glas.
3. Greifen Sie die Flasche mit Ihren warmen Händen und reiben Sie die Flasche (Bild 3). Nach einer Weile beginnt die Münze leicht zu springen.



Bilder 1 bis 3: Versuchsaufbau

**Erklärung und Hintergrund**

Die Hände erwärmen die Glasflasche, wodurch sich die Luft im Inneren der Flasche erwärmt. Da sich Luft bei gleichem Temperaturanstieg stärker ausdehnt als Glas, drängt sie aus der Flasche heraus. Die Luft, die aus der Flasche entweicht, lässt die Münze springen.

**Erweiterungen**

Die Ausdehnung eines Gases beim Erhitzen lässt sich auch mit dem folgenden Experiment veranschaulichen:

1. Stülpen Sie einen Luftballon über den Hals einer Flasche (Bild 1).
2. Stellen Sie den Boden der Flasche für ein paar Sekunden in heißes Wasser. Der Ballon beginnt sich aufzublasen (Bild 2).
3. Nehmen Sie die Flasche heraus und stellen Sie sie in kaltes Wasser oder in den Kühlschrank. Der Ballon entleert sich wieder (Bild 1).

Der Ballon dehnt sich aus, wenn sich die Luft erwärmt und ausdehnt; beim Abkühlen zieht er sich wieder zusammen. Durch die Erwärmung bewegen sich die Luftmoleküle schneller und nehmen mehr Raum ein.

Je größer die Flasche ist, desto größer ist der Effekt.

**Sicherheitshinweis:** Seien Sie vorsichtig beim Umgang mit heißem Wasser!



Bild 1: Entleerter Ballon



Bild 2: Aufgeblasener Ballon

## 6.9 Die verschwindende Münze

### MINT-Thema

Lichtbrechung

### Materialien

- eine Münze
- ein durchsichtiges Glas
- Wasser

### Beschreibung – So geht's

1. Legen Sie eine Münze auf einen Tisch.
2. Stellen Sie ein durchsichtiges Glas auf die Münze (Bild 1).
3. Wenn Sie von der Seite schauen, ist die Münze zu sehen (Bild 2).
4. Geben Sie Wasser in das Glas, bis es fast voll ist.
5. Schauen Sie jetzt noch einmal von der Seite. Können Sie die Münze noch sehen? Sie scheint verschwunden zu sein (Bild 3)!
6. Schauen Sie nun direkt von oben in das Wasser. Können Sie die Münze sehen? Ja, sie ist da (Bild 4)!



Bilder 1 bis 4: Versuchsaufbau

## Erklärung und Hintergrund

Die wissenschaftliche Erklärung für diesen Trick ist die Lichtbrechung. Die Bilder, die wir sehen, bestehen aus Lichtstrahlen, die unser Auge erreichen. Wenn diese Lichtstrahlen sich durch ein homogenes Medium bewegen, werden sie nicht gebrochen. Deshalb ist es zunächst noch möglich, die Münze durch die Seite des leeren Glases zu sehen, da das Licht nur ein Medium durchquert, nämlich Luft.

Wird Wasser in das Glas gegossen, wird das Licht gebrochen, d. h., es ändert seine Richtung, während es zwei verschiedene Medien durchquert: Wasser und Luft. Nachdem die Lichtstrahlen das Wasser und die Glaswand durchquert haben, erreicht keiner von ihnen mehr die Augen.

## 6.10 Die Drei-Münzen-Challenge

### MINT-Thema

Kollisionen, Trägheit, Newtonpendel

### Materialien

- 3 Münzen
- ein Tisch



Bild 1: Versuchsaufbau

### Beschreibung – So geht's

Drei Münzen werden wie in Bild 1 gezeigt in einer Reihe auf einen Tisch gelegt.

Die Herausforderung besteht darin, die 20-Cent-Münze zwischen der 10-Cent- und 1-Euro-Münze zu platzieren, ohne die 10-Cent-Münze zu berühren oder die 1-Euro-Münze zu bewegen. Sie können die 20-Cent-Münze bewegen.

**Hinweis:** Denken Sie an das Newtonpendel bzw. Kugelstoßpendel (Bild 8)!

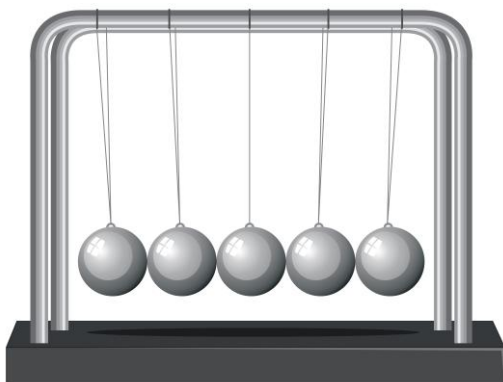


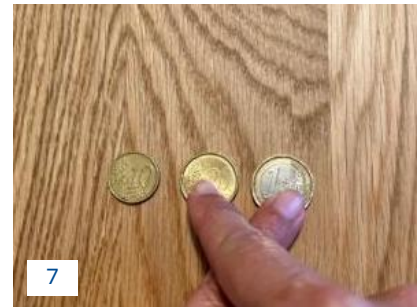
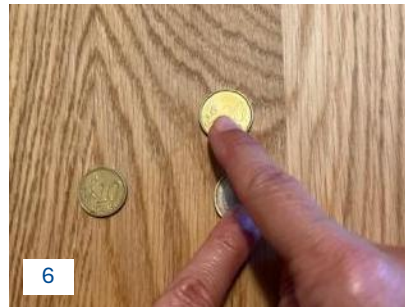
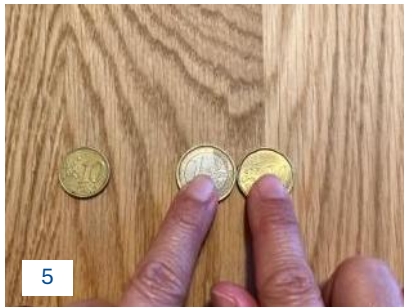
Bild 8: Newtonpendel

(Bild von brgfx auf Magnific, [https://www.magnific.com/free-vector/newton-s-cradle-white-background\\_21302356.htm](https://www.magnific.com/free-vector/newton-s-cradle-white-background_21302356.htm))

**Erklärung und Hintergrund**

Lösung: Legen Sie Ihren linken Zeigefinger auf die 1-Euro-Münze (Bild 3) und tippen Sie mit Ihrem rechten Zeigefinger die 20-Cent-Münze gegen die 1-Euro-Münze (Bild 4).

Dadurch löst sich die 10-Cent-Münze von der 1-Euro-Münze (Bild 5). Da wir nun die 20-Cent-Münze austauschen können, haben wir Platz, sie zwischen die 10- und 20-Cent-Münzen zu legen (Bilder 6 und 7).



Bilder 2 bis 7: Schritt für Schritt

## 6.11 Eigenschaften von Münzen verschiedener Währungen

**MINT-Thema**

Dichte, Masse, Volumen

**Materialien****Aktivität 1**

- ca. 20 gleiche britische Münzen: 1, 2, 5 oder 10 Pence

**Aktivität 2**

- ein starker Magnet
- verschiedene Euromünzen
- optional: Münzen oder Scheine verschiedener Währungen (für die Erweiterung)

## Beschreibung – So geht's

### Aktivität 1

Stellen Sie zwei Stapel aus jeweils etwa zehn gleichen britischen Münzen zusammen (Bild 1). Sind die Stapel gleich hoch?



Bild 1: Vier Stapel unterschiedlicher Höhe mit zwei verschiedenen britischen Münzen

### Aktivität 2

Welche Münzen oder Scheine sind magnetisch? Sie benötigen einen starken Magneten. Probieren Sie alle Euromünzen aus.

Wenn Sie andere Währungen haben, probieren Sie auch diese aus. Was passiert mit einem 1-US-Dollar-Schein (Bilder 2 und 3)?



Bilder 2 und 3: Ein sehr starker Magnet zieht einen 1-Dollar-Schein an.

## Erklärung und Hintergrund

### Aktivität 1

Die Materialzusammensetzung der britischen 1- und 2-Pence-Münzen ist im Jahr 1992 verändert worden und die der 5- und 10-Pence-Münzen ist 2012 verändert worden.

Vor September 1992 waren 1- und 2-Pence-Münzen aus Bronze (97 % Cu, 2,5 % Zn) gefertigt. Nach 1992 wurden die Münzen aus kupferplattiertem Stahl hergestellt. Im Jahr 2012 wurde die Fertigung der 10- und 5-Pence-Münzen auf vernickelten Stahl umgestellt, nachdem sie ursprünglich aus einer Kupfer-Nickel-Legierung (75 % Cu, 25 % Ni) bestanden hatten. Der Wechsel zu vernickeltem Stahl erfolgte aufgrund gestiegener Metallpreise.

Die Veränderung der Materialien führte zu einer Veränderung der Dichte. Daher sind die neueren Münzen etwas dicker als die Älteren, weshalb die Münzstapel unterschiedlich hoch sind.

### Aktivität 2

Die kupferfarbenen 1-, 2- und 5-Cent-Münzen sind magnetisch. Sie sind aus kupferbeschichtetem Stahl gefertigt. Die goldfarbenen 10-, 20- und 50-Cent-Münzen sind nicht magnetisch. Sie bestehen aus einer Legierung aus Kupfer, Aluminium, Zink und Zinn, die „Nordisches Gold“ genannt wird.

Die 1- und 2-Euro-Münzen sind schwach magnetisch. Sie werden von dem Magneten im Versuch leicht angezogen und fallen bei leichtem Schütteln wieder ab. Dies ist ein Sicherheitsmerkmal, um Fälschungen zu erkennen. Das magnetische Material befindet sich jedoch nur im Mittelteil, der bei der 1-Euro-Münze aus einer Kupfer-Nickel-Legierung und bei der 2-Euro-Münze aus einer Nickel-Messing-Legierung besteht. Der äußere Ring ist bei beiden Münzen nicht magnetisch.

Ein sehr starker Magnet zieht einen 1-US-Dollar-Schein leicht an. Die Tinte, die auf 1-Dollar-Scheinen verwendet wird, enthält Eisenpartikel und ist daher magnetisch. Auch hier handelt es sich um ein Sicherheitsmerkmal.

**Experimentvideo:** Siehe *Jet Man*, Video „Is Paper Money Magnetic? “: <https://youtu.be/juuN9VbvrPE>

### Erweiterungen

Vergleichen Sie die magnetischen Eigenschaften der britischen Münzen aus Aktivität 1. Die neueren Münzen bestehen aus Stahl und werden daher von einem Magneten angezogen.

Finden Sie heraus, welche Münzen aus aller Welt magnetisch sind und welche nicht. Was hat sich bei Münzen in den letzten Jahren verändert?

---

## 6.12 Falschgeld mit UV-Licht erkennen

### MINT-Thema

#### Fluoreszenz

Fluoreszenz ist ein optisches Phänomen, bei dem bestimmte Stoffe hochenergetisches Licht, wie beispielsweise ultraviolettes Licht (UV-Licht), absorbieren und sichtbares Licht emittieren. Dieses Phänomen wird als Sicherheitsmerkmal in Banknoten genutzt.

## Materialien

- eine echte Banknote
- eine gefälschte bzw. unechte Banknote (bspw. Geldschein aus Monopoly-Spiel)
- eine UV-Lampe



### Sicherheitshinweis für die Arbeit mit UV-Licht

Bei der Verwendung von ultravioletter (UV) Licht im Unterricht sollten ausschließlich Lampen zum Einsatz kommen, die speziell für den sicheren Einsatz im Bildungsbereich entwickelt wurden. Vermeiden Sie direkten Kontakt mit Augen oder Haut und verwenden Sie niemals hochintensive UV-Quellen. Die UV-Lampe darf ausschließlich von der Lehrkraft oder einer verantwortlichen erwachsenen Person bedient werden, um sicherzustellen, dass die Schüler\*innen die Effekte sicher und ohne Verletzungsgefahr beobachten können.

## Beschreibung – So geht's

1. Nehmen Sie eine echte und eine unechte Banknote und gehen Sie in einen dunklen Raum oder schalten Sie das Licht aus.
2. Leuchten Sie mit einer UV-Lampe auf beide Geldscheine.
3. Beobachten Sie, welche Stellen auf den Geldscheinen unter UV-Licht leuchten bzw. fluoreszieren.

### Was passiert?

- Die echte Banknote zeigt leuchtend fluoreszierende Sicherheitsmerkmale wie leuchtende Streifen, Fasern oder Symbole (Bild 1).
- Die falsche Banknote zeigt entweder keine Fluoreszenz oder sehr matte und ungleichmäßige Leuchtmuster.



Bild 1: Ein 20-Euro-Schein unter UV-Licht

## Erklärung und Hintergrund

Echte Banknoten enthalten spezielle UV-reaktive Druckfarben und Sicherheitsfäden, die bei normalem Licht unsichtbar sind, aber unter UV-Licht fluoreszieren. Durch diese Sicherheitsmerkmale lässt sich echtes Geld leicht von Fälschungen unterscheiden. Gefälschte Banknoten weisen diese Druckfarben in der Regel nicht auf oder verfügen über minderwertige Nachahmungen, die nicht so stark fluoreszieren.

## Erweiterungen

- Recherchieren Sie, wie verschiedene Länder ihre UV-Sicherheitsmuster auf Banknoten gestalten.
- Untersuchen Sie weitere Sicherheitsmerkmale wie Wasserzeichen, Mikroschrift oder Hologramme.

## 6.13 Einen Geldschein auf den Kopf stellen

### MINT-Thema

Symmetrie, Falten, Topologie

### Materialien

- ein Geldschein mit einem gut erkennbaren Motiv (bspw. mit einem Portrait)



Bild 1: Ein 1-US-Dollar-Schein

### Beschreibung – So geht's

1. Zeigen Sie Ihrer Klasse den Geldschein (Bild 1).
2. Falten Sie den Geldschein der Länge nach in der Mitte zusammen (Bild 2).
3. Falten Sie den Schein in der Mitte (Bild 3). Die Länge ist nun halbiert.
4. Wiederholen Sie die Faltung in der Mitte. Die Länge des Scheins ist nun geviertelt.
5. Wiederholen Sie die Faltung in der Mitte erneut (Bild 4). Die Länge ist nun geachtelt.



Bilder 2 bis 4: Den Geldschein falten

6. Jetzt entfalten Sie den Geldschein (Bilder 5 bis 7). Steht das Gesicht etwa auf dem Kopf (Bild 8)!?



Bilder 5 bis 7: Den Geldschein wieder entfalten



Bild 8: Das Portrait steht auf dem Kopf!

### Erklärung und Hintergrund

Beim Falten kann es leicht dazu kommen, dass sich das gefaltete Papier oder der Gutschein umdreht – aber was genau passiert in diesem Experiment?

Zu welchem Zeitpunkt wird der Schein umgedreht? Verfolgen Sie die Position der Ecken des Scheins und finden Sie es selbst heraus. Die Fotoserie, die den Faltvorgang zeigt, enthält Hinweise.

## 6.14 Die springende Münze – mit der Kraft der Luft

### MINT-Thema

Bernoulli-Effekt

Dieses Experiment veranschaulicht den Bernoulli-Effekt, der bei dem Thema Strömungslehre vorkommt. Der Bernoulli-Effekt zeigt, wie sich der Luftdruck mit der Luftgeschwindigkeit verändert. Dieses Experiment nutzt den Effekt, um Gegenstände zu bewegen – ganz ähnlich funktioniert der Auftrieb bei Flugzeugen.

(Siehe 'Feat 1: Jumping Coin' in David Featonby, Victoria Demianets, *Fantastic feats: magic with money*, *Science in School* 47, 2019: [www.scienceinschool.org/article/2019/fantastic-feats-magic-money/](http://www.scienceinschool.org/article/2019/fantastic-feats-magic-money/))

### Materialien

- eine kleine, leichte Münze (bspw. Aluminiummünze wie ein japanischer Yen)
- eine kleine Streichholzschachtel
- eine Tasse oder ein Becher (eher konisch geformt, nicht zylindrisch)
- eine gerade Fläche wie ein Tisch
- optional: weitere kleine Münzen (für die Erweiterung)

**Beschreibung – So geht's**

1. Bauen Sie die Münze, die Streichholzschachtel und die Tasse wie in Bild 1 dargestellt auf.
2. Positionieren Sie sich wie in Bild 1 gezeigt, sodass Sie direkt über die Münze pusten können.
3. Pusten Sie einmal schnell und kräftig – die Münze sollte in den Becher springen (Bild 2).



Bild 1: Versuchsaufbau



Bild 2: Durch den veränderten Luftdruck springt die Münze.

**Erklärung und Hintergrund**

Laut Bernoullis Gleichung nimmt der Druck ab, wenn die Geschwindigkeit der Strömung eines Fluids, also einer Flüssigkeit oder eines Gases, steigt.

Wenn man schnell über die Münze bläst, sinkt der Luftdruck über der Münze.

Der höhere Luftdruck unter der Münze drückt sie nach oben, sodass sie springt.

Nach demselben Prinzip entsteht auch der Auftrieb an Flugzeugflügeln: Die Luft strömt schneller über die gewölbte Oberseite des Flügels, wodurch unter dem Flügel ein Unterdruck entsteht, der das Flugzeug anhebt. Der Effekt lässt sich auch mit einem Stück Papier zeigen, über das man pustet (Bild 3).

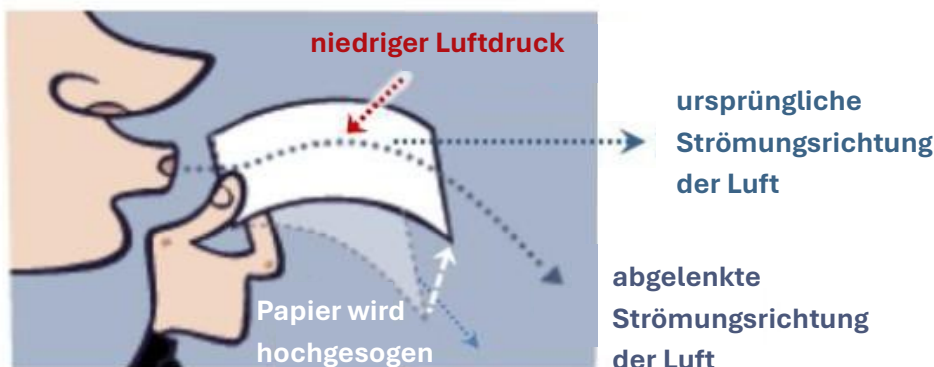


Bild 3: Bernoulli-Effekt mit einem Stück Papier

(Übersetzt aus: *Nicholas Landell-Mills, The Bernoulli paper experiment is explained by a change in momentum of the airflow, 2023, p. 1, fig. A.*)

## Erweiterungen

Probieren Sie diese zusätzlichen Aktivitäten aus:

- Münzen vergleichen:  
Probieren Sie den Trick mit verschiedenen Münzen aus und messen Sie, wie weit oder wie hoch jede einzelne springt.
- Bernoulli im echten Leben:  
Recherchieren Sie weitere Anwendungsbeispiele des Bernoulli-Prinzips, beispielsweise wie ein Staubsauger funktioniert oder wie Parfüm versprüht wird.

## 6.15 Lichtbeugung mit einem kanadischen Geldschein

### MINT-Thema

Interferenzmuster

Licht verhält sich wie eine Welle. Wenn es durch sehr feine, gleichmäßig angeordnete Strukturen fällt – wie beispielsweise die Mikrostrukturen im transparenten Sicherheitsfenster einer kanadischen Banknote –, wird das Licht gebeugt und breitet sich aus. Dadurch entsteht ein **Interferenzmuster**.

Ein Laser erzeugt Licht einer einzigen Farbe (monochromatisches Licht), wodurch die gebeugten Strahlen als eine Reihe heller Punkte erscheinen.

### Materialien

- ein kanadischer Dollar-Schein
- ein Laserpointer
- eine Wand



#### Sicherheitshinweis für die Arbeit mit Lasern

Der in den Bildern 1 und 2 abgebildete Laserpointer wurde ausschließlich zu Demonstrationszwecken verwendet und unter kontrollierten Bedingungen von einem Erwachsenen bedient.

Wählen Sie für diese Aktivität stets den sichersten Laser aus. Richten Sie den Strahl nicht auf die Augen oder reflektierende Oberflächen und achten Sie darauf, dass der Laser stets verantwortungsbewusst genutzt wird.

Der Laser darf nur von der Lehrkraft oder einem verantwortungsbewussten Erwachsenen mit entsprechenden Fachkenntnissen bedient werden.

## Beschreibung – So geht's

1. Halten Sie einen kanadischen Dollar-Schein vor eine Wand und finden Sie das transparente Fenster auf dem Schein.
2. Nehmen Sie einen Laserpointer und richten Sie ihn vorsichtig auf den mikrostrukturierten Teil im Fenster des Geldscheins (Bild 1).
3. Beobachten Sie das Muster der leuchtenden **Punkte**, die an der Wand erscheinen (Bild 2).



Bild 1: Versuchsaufbau

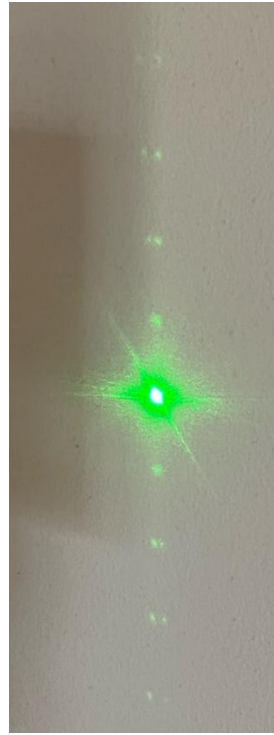


Bild 2: Lichtbeugung: Punkte an der Wand

## Erklärung und Hintergrund

Die Mikrostrukturen auf dem Fenster der Banknote wirken wie ein **optisches Gitter**.

- Wenn das Laserlicht hindurchgeht, breiten sich die Wellen aus und interferieren miteinander.
- Bei bestimmten Winkeln addieren sich die Wellen (konstruktive Interferenz) und erzeugen helle Flecken.
- Bei anderen Winkeln heben sie sich gegenseitig auf (destruktive Interferenz), wodurch dunkle Bereiche entstehen.

Das Ergebnis ist eine Reihe von leuchtenden Punkten, die an die Wand projiziert werden.

# Einfache Experimente mit MÜNZEN UND SCHEINEN

