



**Unterrichtsmodul**

**Sensoren und Messungen**

Alle Materialien und Kontaktdaten sind auf den Projektwebseiten und im Erasmus+ Projektprofil zu finden:

<https://sites.google.com/campus.ul.pt/hands-on-remote-language/home>

<https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2020-1-DE02-KA226-VET-008295>

## Kernteam Entwicklung

- Marion Pellowski und Lorenz Kampschulte, Deutsches Museum, München, Deutschland
- Pedro Reis, Mónica Baptista, Luís Alexandre da Fonseca Tinoca, Lisbon University, Institute of Education, Lissabon, Portugal
- Wojciech Karcz, Adam Zahler, Anna Strzeszewska-Potyrała, Karolina Klimaszewska, Copernicus Science Center, Warschau, Polen
- Miriam Voß, Mike Kramler, Marion Pellowski, Technische Universität München, München, Deutschland

## Haftungsausschluss

Dieses Projekt wurde mit Unterstützung der Europäischen Kommission finanziert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung trägt allein der Verfasser; die Kommission haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.



Kofinanziert durch das  
Programm Erasmus+  
der Europäischen Union

## Impressum

Autoren:

Karolina Klimaszewska, Adam Zahler, Wojciech Karcz, Copernicus Science Centre, Warschau, Polen

Die deutsche Version wurde übersetzt und adaptiert von  
Marion Pellowski, Technische Universität München und Deutsches Museum,  
Annette Beljung, Mike Kramler und Miriam Voß, Technische Universität München,  
beide Institutionen München, Deutschland.

Deutsches Museum, München, Deutschland

Layout & Design: Michał Romański

Druck: Februar 2023



Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Attribution 4.0 International License. Elemente, die als Zitate gekennzeichnet sind, können anderen Lizenzen unterworfen sein.

## Inhalt


1	Einführung.....	4
	Kurzer Überblick über das Modul .....	4
1.1	Ziele.....	5
1.2	Didaktische Begründung.....	5
1.3	Gemeinschaftsgefühl und digitale Zusammenarbeit.....	7
1.4	Struktur der Unterrichtseinheiten.....	8
2	Anbindung an den Lehrplan.....	8
3	Überblick über die Modulsequenz für das Unterrichtsmodul "Sensoren und Messungen" .....	9
4	Inhalt: Lernsequenz für das Unterrichtsmodul "Sensoren und Messungen".....	10
4.1	Einheit 1: Messfehler .....	10
4.2	Einheit 2: In Bewegung.....	18
4.3	Einheit 2.a Einführung zum Verständnis des Phänomens (Lektion 1).....	19
4.4	Einheit 2.b Gummiband Antrieb (Lektion 2) .....	30
4.5	Einheit 2.c Vergleich der Ergebnisse (Lektion 3) .....	37
4.6	Einheit 3 Pendel.....	38
4.7	Einheit 3.a Einführung zum Verständnis des Phänomens, Teil 1 (Lektion 1).....	39
4.8	Einheit 3.b Einführung zum Verständnis des Phänomens, Teil 2 (Lektion 2) .....	47
4.9	Einheit 3.c Vergleich der Ergebnisse (Lektion 3) .....	56
4.10	Einheit 4. Elektromagnet .....	58
4.11	Einheit 4.a Bau eines Elektromagneten (Lektion 1) .....	59
4.12	Einheit 4.b Bau des Sensors (Lektion 2) .....	68
4.13	Einheit 4.c Präsentation der Sortiergeräte (Lektion 3) .....	76
5	Anhang – Wie man Sensoren mit der Arduino Science Journal App verwendet.....	78

## Kurzer Überblick über das Modul

Unterrichtsmodul

**Sensoren  
und Messungen**

Die Schülerinnen führen verschiedene Experimente durch, bei denen sie Sensoren selbst herstellen. Sie erforschen grundlegende physikalische Phänomene wie Spannenergie, Beschleunigung und Elektromagnetismus. Die Schüler können einzeln oder im Team arbeiten. Auch eine Zusammenarbeit in Remote-Situationen ist möglich.

Optionale Einheit	Hauptmodul		
<b>Einheit 1</b> <b>Messfehler</b> <b>Ziel:</b> Unterschiedliche Messfehler und Möglichkeiten ihrer Vermeidung kennen lernen. <b>Aufgabe:</b> Messen der Diagonale eines Blattes Papier, Unterscheiden grober, systematischer und zufälliger Fehler, Fehlerberechnung.	<b>Einheit 2a</b> <b>Schleudern</b> <b>Ziel:</b> Erforschen, welche Distanz ein Objekt zurücklegt, das mit einem gespannten Gummiband vorwärts geschneit wird. <b>Aufgabe:</b> Bau einer einfachen Schleuder, Messen verschiedener Einflussfaktoren auf das Schleudern eines Objekts.	<b>Einheit 2b</b> <b>Gummibandantrieb</b> <b>Ziel:</b> Nutzen der Spannenergie (der potentiellen Energie der Elastizität) zur Konstruktion eines einfachen Antriebs. <b>Aufgabe:</b> Bau eines Fahrzeugmodells mit Gummibandantrieb, Erheben von Messdaten zur Beschleunigung.	<b>Einheit 2c</b> <b>Vergleich der Ergebnisse</b> <b>Ziel:</b> Präsentation der eigenen Analyse der Messergebnisse für die gesamte Klasse und Vergleich mit den Ergebnissen anderer Schüler. <b>Aufgabe:</b> Präsentation der eigenen Datenanalyse.
 Die Lehrkräfte können die Reihenfolge der Module ändern oder nur eines als unabhängige Einheit verwenden.	<b>Einheit 3a</b> <b>Bau des Pendels</b> <b>Ziel:</b> Mit dem Pendel Messungen durchführen, z. B. zur Schwingungsdauer. <b>Aufgabe:</b> Bau eines Modells eines mathematischen Pendels mit einfachen Werkzeugen und Materialien.	<b>Einheit 3b</b> <b>Herstellung eines Messwerkzeugs</b> <b>Ziel:</b> Herstellen/Verwenden eines Sensors als Messinstrument für das Pendel. <b>Aufgabe:</b> Vermessen des Pendels mit einem Smartphone (Arduino Science Journal App) oder einem einfachen selbst gebauten Sensor (NodeMCU).	<b>Einheit 3c</b> <b>Vergleich der Ergebnisse</b> <b>Ziel:</b> Präsentation der eigenen Analyse der Messergebnisse für die gesamte Klasse und Vergleich mit den Ergebnissen anderer Schüler. <b>Aufgabe:</b> Präsentation der eigenen Datenanalyse.
	<b>Einheit 4a</b> <b>Bau eines Elektromagneten</b> <b>Ziel:</b> Bau eines einfachen Elektromagneten zur Untersuchung des Phänomens Elektromagnetismus. <b>Aufgabe:</b> Messen der Stärke eines Elektromagneten mit Hilfe eines Kompasses und einer Mess-Skala.	<b>Einheit 4b</b> <b>Bau des Sensors</b> <b>Ziel:</b> Einen Weg zur Messung der magnetischen Feldstärke finden. <b>Aufgabe:</b> Messung der magnetischen Feldstärke mit einem Smartphone oder einem DIY-Sensor (NodeMCU + Hall-Sensor).	<b>Einheit 4c</b> <b>Münzsortierer</b> <b>Ziel:</b> Transfer des Gelernten auf den Entwurf eines einfachen Münzsortierers. <b>Aufgabe:</b> Bau eines Münzsortierers mit Hilfe eines Elektromagneten.



In diesem Modul können Schüler:innen verschiedene Arten von Messungen durchführen und sich ihre eigenen Messinstrumente – von sehr einfachen Instrumenten bis hin zu elektronischen Sensoren – selbst herstellen. Das Hauptziel des Moduls besteht darin, die Jugendlichen in diese Thematiken einzuführen und zu eigenen Hands-on-Experimenten anzuregen.

In jeder der Einheiten bauen sich die Schüler:innen ihr eigenes Experimentierset zum Durchführen der Versuche (z. B. ein Modell eines mathematischen Pendels oder ein Fahrzeug, welches mit einem Gummibandantrieb fährt). Sie verwenden sehr einfache Materialien und Geräte, zu denen jede/r Zugang haben sollte. Sie können verschiedene Sensoren nutzen, von einfachen Messungen mit Sensoren, die im Smartphone integriert sind, bis hin zum Einsatz vollständig selbstgebauter Sensoren.

Abhängig von den Vorerfahrungen der Klasse kann die Lehrkraft verschiedene Abläufe wählen und das Modul so an das Vorwissen der Schüler:innen anpassen. Für ein Einstiegsniveau lassen sich Beobachtungen einfach halten und Ergebnisse manuell erfassen. Fortgeschrittene können komplexere Methoden und Techniken wählen und ihren eigenen Sensor konstruieren, ggf. zusammen mit ihrer Lehrkraft. Unabhängig vom gewählten Vorgehen ist das wichtigste Element in jeder Einheit die abschließende Diskussion der Ergebnisse mit den Schüler:innen, in welcher die Ergebnisse interpretiert und Schlussfolgerungen gezogen werden.



Jede Unterrichtseinheit in diesem Modul folgt einem ähnlichen Schema: 1. Kurze Einführung ins Thema mit einer einfachen Demonstration des Phänomens, 2. Diskussion der Demonstration bzw. des Phänomens mit den Schüler:innen, 3. Planen und Konzipieren des Experiments und der Untersuchung, 4. Durchführen der Messungen und Beobachtungen sowie das Erfassen der Daten, 5. Interpretation der Daten in einer abschließenden Diskussion mit den Schüler:innen. Die Leitidee des Moduls ist es, die Schüler:innen aktiv an der Analyse der Ergebnisse zu beteiligen und ihnen eigenständiges Experimentieren zu ermöglichen. Die Lehrkraft nimmt in diesem Prozess die Rolle eines Lernbegleiters ein, der die Jugendlichen in ihrem Forschungsprozess unterstützt, insbesondere bei der Konzeption ihres Experiments bzw. ihrer Untersuchung und der Interpretation und Analyse ihrer Daten und Ergebnisse.

Die Hands-on Experimente sind aus verschiedenen Gründen ein sehr entscheidender Aspekt des Moduls: Zum einen haben viele junge Leute heutzutage wenig Gelegenheit, sich in DIY-Aktivitäten zu erproben. Zum anderen haben sich zahlreiche Lernprozesse in Online-Umgebungen verlagert, vor allem während der COVID-19 Pandemie. Die pandemiebedingte Zunahme aller Formen des Distanz- und Remote-Unterrichts wurde oft von einem gänzlichen Stopp der Durchführung praktischer Experimente begleitet, die Sachverhalte im Wortsinn „begreifbar“ machen können. Um einen Ausgleich für diesen Mangel an Experimentiermöglichkeiten und Praxiserfahrungen zu schaffen, stehen in allen hier vorgestellten Unterrichtseinheiten Hands-on Aktivitäten im Vordergrund, z. B. die Konstruktion von Messinstrumenten oder Experimentiersets für die eigenen Forschungsprozesse. Die Auswahl der Themen und die Konzeption der Aktivitäten ermöglichen es den Jugendlichen mit sehr einfachen und leicht verfügbaren Materialien zu arbeiten, um sich einen Aufbau für ihre eigenen Forschungsprojekte herzustellen. Ein weiterer positiver Effekt dieses Vorgehens: Der Einstieg kann auch für diejenigen leicht und zugänglich gehalten werden, die bisher selbst keine DIY-Erfahrung haben (seien es Lehrkräfte oder Schüler:innen).

Ein Experiment selbst durchzuführen und sich selbst einen Forschungsaufbau zu konstruieren, sind die zentralen Leitlinien jeder Einheit. Die Entscheidung, welche Beobachtungen und Messungen durchgeführt werden, liegt bei der Lehrkraft, die Leistungsniveau und Fortschritte der einzelnen Schüler:innen am besten einschätzen kann. Aus diesem Grund sind verschiedene Verfahren möglich: Ein einfaches Notizbuch und ein Stift lassen sich ebenso nutzen wie ein Smartphone oder ein selbst programmierter und konstruierter Sensor. Für einige der Einheiten sind 3D-Druck-Dateien (stl-Dateien) für die Konstruktion des Messinstruments verfügbar, mit denen die Schüler:innen sich entsprechende Teile selbst auf einem 3D-Drucker herstellen können. Für den Experimentaufbau und die Experimentkonstruktion kann der 3D-Druck als ein Teil des Gesamtprozesses eingebunden werden. Die Versuche können jedoch auch ohne Zugang zu einem 3D-Drucker durchgeführt werden, da jedes Experiment ebenso aus einfachen Materialien aufgebaut werden kann.

Die Analyse der Ergebnisse und die Diskussion der Ergebnisse mit den Schüler:innen, um Rückschlüsse zu ziehen, bilden den Abschluss jeder Einheit. Für die Datenanalyse können vollständig analoge Techniken – wie z. B. selbst gezeichnete Diagramme – verwendet werden oder Software, wie z. B. Tabellenkalkulationsprogramme (etwa MS Excel oder Calc).

Ein wichtiger Aspekt, der bei der Nutzung des Moduls zu beachten ist, besteht in der Verbindung der physischen Welt (dem Experiment, den Beobachtungen) und der digitalen Welt (Messungen, Datenanalyse). Aufgrund der Verbindung dieser Welten in den Unterrichtseinheiten haben die Schüler:innen die Möglichkeit, ihre digitalen Kompetenzen weiterzuentwickeln und den Zusammenhang zwischen dem realen Phänomen und den digitalen Daten, die sie durch ihre Messungen des jeweiligen Phänomens erhalten haben, zu erkennen.

### 1.3 Gemeinschaftsgefühl und digitale Zusammenarbeit

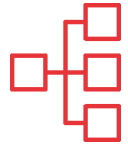


Die Unterrichtseinheiten können gänzlich im Distanzunterricht stattfinden oder vor Ort im Klassenzimmer. Die vorgeschlagenen Methoden zur Messwerterfassung (Smartphone-App oder selbstgebauter Sensor) speichern Daten in digitaler Form. Die erhobenen Messergebnisse können daher schnell und einfach geteilt werden, z. B. mit einem allen zugänglichen Cloud-Dienst.

Die Lehrkraft kann für sich auch eine andere Variante wählen und die Aufgabe vergeben, einen (NodeMCU-basierten) Sensor herzustellen, der automatisch Daten erfasst und an eine gemeinsame Datenbank schickt. Dank eines solchen Verfahrens wird es möglich, Daten aus verschiedenen, voneinander entfernten und ggf. weit verstreuten Messstationen an einem einzelnen Ort zu sammeln. Es ist sogar möglich, diesen Ansatz umzukehren und ein physisch vorhandenes Experimentierset an einem Ort mit einem Sensor auszustatten (z. B. an der Schule), welches die Daten an einen Cloud-Dienst schickt. Auf diesen Cloud-Dienst können alle zugreifen und so die Ergebnisse des Experiments remote auch im Home-Schooling analysieren, ohne selbst physisch am Ort des Experiments anwesend zu sein.



## 1.4 Struktur der Unterrichtseinheiten



Das Modul ist in zwei Hauptteile gegliedert. Der erste (Einheit 1) dreht sich um Messfehler sowie um die Grundlagen der Analyse experimenteller Daten. Dieser Teil kann von der Lehrkraft nach eigenem Ermessen eingesetzt oder übersprungen werden. Im zweiten Hauptteil (Einheiten 2–4) werden drei große Themen angesprochen: Beschleunigung, Spannenergie und Elektromagnetismus. Jedes Thema bildet eine in sich abgeschlossene Einheit; die Themen müssen daher nicht aufeinander aufbauend eingeführt werden. Das Modul kann so leicht an verschiedene äußere Rahmenbedingungen angepasst werden. Die Lehrkraft kann selbst entscheiden, welche Einheiten oder Elemente sie in ihrem Unterricht mit ihren Schüler:innen nutzen will.

## 2 Anbindung an den Lehrplan

Das Unterrichtsmodul basiert auf Beratungen mit Lehrkräften, die in polnischen Berufs- und Fachschulen arbeiten. Die vorgeschlagenen Experimentiereinheiten sind an den Unterrichtsfächern Physik und Mathematik orientiert. Die Lehrkräfte betonten in den Beratungsgesprächen nachdrücklich, wie wichtig es ist, praktische technische Fähigkeiten in reguläre Unterrichtsfächer einzubinden. Die im Unterrichtsmodul enthaltenen Experimentiereinheiten decken folgende Themen ab:

Einheit 1 – Messfehler

Einheit 2 – Kinematik, Spannenergie, Energieumwandlung

Einheit 3 – Mathematisches Pendel

Einheit 4 – Elektromagnetismus

Zu Beginn jeder Experimentiereinheit sind alle Themen und Unterthemen aufgeführt, die einen Bezug zum Hauptthema haben. Lehrkräfte können einzelne Elemente oder die gesamte Experimentiereinheit so einfach an ihren Bedarf und an ihren Lehrplan anpassen, unabhängig davon, in welchem Land sie arbeiten.

### 3 Überblick über die Modulsequenz für das Unterrichtsmodul “Sensoren und Messungen”

<b>Einheit 1 Messfehler</b>
Kennenlernen, welche Arten von Messfehlern es gibt und wie sie sich vermeiden lassen.
<b>Einheit 2 In Bewegung</b>
<u>Einheit 2.a Schleuder</u> Erforschen, welche Distanz ein Objekt zurücklegt, das mit einem gespannten Gummiband vorwärts geschleudert wird.
<u>Einheit 2.b Gummiband Antrieb</u> Nutzen der Spannenergie eines Gummibands zur Konstruktion eines einfachen Antriebs für ein Fahrzeug.
<u>Einheit 2.c Analyse der Versuchsergebnisse</u> Präsentation der eigenen Analyse der Messergebnisse für die gesamte Klasse und Vergleich der Ergebnisse in der Gruppe.
<b>Einheit 3 Pendel</b>
<u>Einheit 3.a Aufbau des Pendels</u> Nutzen des aufgebauten Pendels für verschiedene Messungen, z. B. die Schwingungsdauer.
<u>Einheit 3.b Ein Messgerät konstruieren und bauen</u> Bau eines Sensors, mit dem sich für das Pendel Daten, wie z. B. die Schwingungsdauer, automatisch erfassen lassen.
<u>Einheit 3.c Analyse der Versuchsergebnisse</u> Präsentation der eigenen Analyse der Messergebnisse für die gesamte Klasse und Vergleich der Ergebnisse in der Gruppe.
<b>Einheit 4 Elektromagnet</b>
<u>Einheit 4.a Einen Elektromagneten selbst bauen</u> Bau eines einfachen Elektromagneten, um Elektromagnetismus zu erforschen.
<u>Einheit 4.b Einen Sensor selbst bauen</u> Einen Weg finden, um die magnetische Feldstärke zu messen.
<u>Einheit 4.c Münzsortierer</u> Transfer des Gelernten auf den Entwurf eines einfachen Münzsortierers.

## 4 Inhalt: Lernsequenz für das Unterrichtsmodul "Sensoren und Messungen"

### 4.1 Einheit 1: Messfehler



#### **Kurzbeschreibung**

In dieser Einheit können die Schüler:innen anhand eigener Messungen verschiedene Arten von Messfehlern kennen lernen. Die Schüler:innen können begreifen, dass der Umgang mit Messfehlern ein integraler Bestandteil von Forschungsarbeit ist und wie wichtig es ist, Messfehler zu erkennen und nach Möglichkeit zu vermeiden.

#### **Themen**

Durchführung von Messungen (Metrologie), Messfehler und Messunsicherheiten, Genauigkeit von Messinstrumenten, Messstatistiken, Verteilung von Größen

#### **Dauer**

1 Unterrichtsstunde + selbstständiges Arbeiten der Schüler:innen zu Hause

# Lektion 1

## Format

Im Klassenzimmer oder online

*Eine Kombination mit Einheit 3 (mathematisches Pendel) ist möglich.*

## Zielsetzung

Die Bewegung eines mathematischen Pendels zu untersuchen, ein Pendel zu bauen und seine Schwingungsdauer zu berechnen, sowie den Wert der Erdbeschleunigung zu bestimmen.



## Materialien für die Lehrkraft

- Ein Online-Programm, mit dem die Messungen der Schüler:innen gemeinsam dargestellt werden können (im Distanzunterricht)
- Ein Whiteboard zum Notieren der Messwerte (im Klassenzimmer)

## Materialien für die Schüler:innen

- Eine Schraubenmutter, etwa M8, oder ein ähnliches Metallgewicht
- Eine nicht dehnbare Schnur von etwa 1 m Länge
- Klebeband
- Ein fester Stab, an dem die Schnur aufgehängt wird
- Eine stabile Konstruktion zur Befestigung der Stange in ausreichender Höhe, so dass der Faden und die Pendelmasse den Aufhängepunkt nicht verschieben
- Blatt Papier, A3
- Winkelmesser, z. B. Geodreieck
- Bleistift
- Verschiedene Instrumente zum Messen von Längen (Lineale unterschiedlicher Längen, Meterstab, Zimmermannsmaßband, Schneidermaßband)
- Stoppuhr (z. B. in einem Handy)
- Arbeitsblatt Einheit 1/Lektion 1

## Aufgabe 1: Messen der Diagonalenlänge



### **Gemeinsames Mess-Experiment**

- Bitten Sie als Lehrkraft jede Schüler:in, die Diagonale des A3-Blattes mit einem eigenen Maßband zu messen. Wenn möglich, sollten die Schüler:innen dabei jeweils unterschiedliche Instrumente zur Längenmessung (s. Materialliste) nutzen.
- Notieren Sie nacheinander die von den Schüler:innen ermittelten Werte im Online-Arbeitsblatt (Distanzunterricht) oder am Whiteboard/an der Tafel (Präsenzunterricht).
- Stellen Sie den Schüler:innen die Ergebnisse vor.
- Gemeinsam mit den Schüler:innen streichen Sie Messungen, die eine sehr große Messungenauigkeit aufweisen (starke Abweichung vom Rest) und berechnen das arithmetische Mittel aller verbleibenden Messungen.
- Sie vergleichen zusammen mit ihrer Klasse das Ergebnis mit dem Wert, der sich aus den Standardmaßen eines DIN A3-Blattes ergibt.

### **Fragen an die Schüler:innen nach dem Mess-Experiment**

- Gab es Unstimmigkeiten in den Ergebnissen?
- Gab es auch dann Unstimmigkeiten in den Ergebnissen, wenn für die Messungen das gleiche Messwerkzeug verwendet wurde?
- Wie groß war die kleinste Abweichung in unseren Messungen?
- Wie sind die Werte in dem Balkendiagramm verteilt?
- Wie stark unterscheidet sich der Wert für die Diagonale, die aus dem arithmetischen Mittel der Messungen berechnet wurde, von den Standardmaßen eines DIN A3-Blattes?

## Diskussion

Ziel der Diskussion ist, den Schüler:innen bewusst zu machen, dass bei Messungen verschiedene Fehler auftreten können:

- „Grobe“ Fehler – die sich aus Unaufmerksamkeit oder Unkonzentriertheit ergeben (z. B. falsches Ablesen, Verschieben des Lineals auf der gemessenen Fläche, Verwendung der Skala in Zoll statt der Skala in cm usw.). Ergebnisse mit solchen Fehlern werden nicht berücksichtigt, sondern verworfen.
- Systematische Fehler – sie ergeben sich aus der Konstruktion des Werkzeugs oder der angewandten Messtechnik (z. B. einer zu starken Dehnung des Maßbandes).
- Zufällige Fehler – die durch äußere Faktoren verursacht werden können (z. B. der Einfluss der Temperatur auf die Länge des Maßbandes) oder durch die Situation (z. B. Parallaxe – falsches Ablesen des Ergebnisses aufgrund eines falschen Blickwinkels auf die Messskala (s. <https://de.wikipedia.org/wiki/Parallaxenfehler#/media/Datei:Parallaxenfehler.svg>)).

Es ist wichtig, dass die Schüler:innen realisieren, dass Fehler immer vorkommen können und es daher von großer Bedeutung ist, Messfehler zu erkennen und nach Möglichkeit zu vermeiden. Die Diskussion kann mit einem Experiment abgeschlossen werden, bei dem die Schüler:innen Fehler, die bei der ersten Messung aufgetreten sein könnten, identifizieren und versuchen, sie bei der nächsten Messung auszuschließen. Sie wiederholen also die Messung der Diagonale eines A3-Blatts. Die neuen Ergebnisse der Schüler:innen werden gesammelt, in grafischer Form dargestellt (Balkendiagramm), der Durchschnitt der gemessenen Werte berechnet und mit den Ergebnissen der ersten Messung verglichen.

## Aufgabe 2: Pendel



Jede Schüler:in führt die Pendel-Experimente auf einer stabilen Unterlage selbstständig durch.

### **Erstellen eines Pendels:**

1. Befestige eine Schraubenmutter an der Schnur.
2. Befestige das andere Ende der Schnur an einem Stab.
3. Befestige den Stab an einer stabilen Konstruktion, so dass die pendelnde Schraubenmutter den Befestigungspunkt nicht verschiebt.
4. Zeichne eine Winkelskala auf ein A3-Blatt (wie unten abgebildet).
5. Platziere das Blatt so hinter dem Faden, dass der Mittelpunkt der Skala mit dem Punkt, an dem der Faden am Stab hängt, auf einer Höhe liegt.

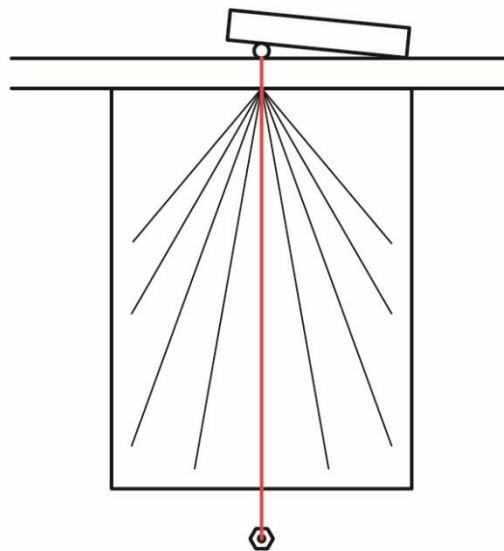
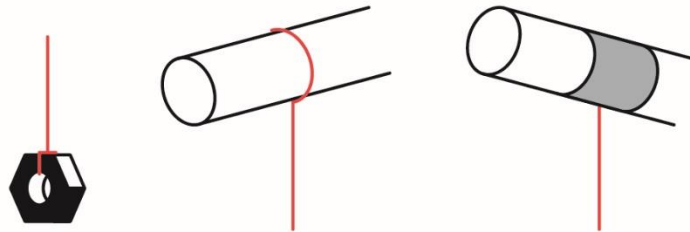
## FORSCHUNGSFRAGE 1

*Wie groß ist die Schwingungsdauer deines Pendels?*



Teil 1 Messwerkzeug – ein Mensch (in diesem Fall eine Schüler:in) mit einer Stoppuhr

1. Lenke das Pendel um 10 Grad aus. Lass das Pendel los und schalte dabei die Stoppuhr ein.
2. Zähle die Anzahl der Schwingungen, halte die Stoppuhr bei der fünften Schwingung an und notiere das Ergebnis.
3. Berechne die Schwingungsdauer, indem du das Ergebnis durch fünf teilst.
4. Wiederhole die Messung mehrere Male. Trage die Ergebnisse in das Balkendiagramm ein.





## FORSCHUNGSFRAGE 2



*Wie groß ist der Wert der Erdbeschleunigung?*

Schwinge das Pendel um 10 Grad. Lass das Pendel los und schalte gleichzeitig die Stoppuhr ein.

- Zähle die Anzahl der Schwingungen, stoppe die Stoppuhr bei der fünften Schwingung und notiere das Ergebnis.
- Berechne die Schwingungsdauer, indem du das Ergebnis durch fünf teilst.
- Miss nach jeder Messung der Schwingungsdauer die Länge des Fadens (vom Aufhängepunkt bis zum Schwerpunkt der Pendelmasse, d. h. in diesem Fall der Schraubenmutter).
- Berechne mit Hilfe der umgewandelten Formel für die Schwingungsdauer eines Pendels den Wert der Erdbeschleunigung:  $g = 4L\pi^2/T^2$
- Wiederhole die Messung mehrere Male. Zeichne die Ergebnisse in ein Histogramm ein.

### Troubleshooting

Der Aufhängepunkt bewegt sich, wenn sich das Pendel bewegt.

- Fixiere den Aufhängepunkt z. B. mit Knetmasse oder Heißkleber.

### Zusammenfassung des Experiments

Unterstützende Fragen:

- Wie lässt sich ein Wert genauer messen?
- Entspricht der gemessene Wert der Diagonale eines A3-Blatts der tatsächlichen Größe?
- Wie ändern sich der Wert der Schwingungsdauer und der daraus ermittelte Wert für die Erdbeschleunigung, wenn der Winkel der Auslenkung des Pendels verändert wird?

Theoretisch sollte, bei einer unendlichen Anzahl von Messungen, bei der es lediglich zufällige Fehler gibt, der Durchschnittswert dem wahren Wert entsprechen.

Der wahre Wert der Messgröße ist in der Regel vor der Messung nicht bekannt (zumindest bei wissenschaftlichen Messungen), so dass die Beseitigung bzw. das Erkennen des statistischen Fehlers schwierig sein können. Daher ist ein wichtiger Teil wissenschaftlicher Forschung die Durchführung und Wiederholung von Messungen durch verschiedene Teams – was in unserem Fall durch die Arbeit vieler (unabhängiger) Schüler:innen erreicht wird.

Grobe Fehler sind dagegen relativ leicht zu beheben. In unserem Fall könnte ein solcher Fehler z. B. dadurch entstehen, dass ein Maßband mit einer Skala in Zoll verwendet wird, diese jedoch als Zentimeter abgelesen werden. Ein weiterer häufiger Fall von groben Fehlern bei der Längenmessung ist die Verschiebung der anfänglichen "0" im Verhältnis zum gemessenen Objekt während der Messung. Daher ist äußerste Sorgfalt bei der Durchführung von Messungen von entscheidender Bedeutung.

Bei der Messung der Schwingungsdauer des Pendels in Teil 1 ist die Hauptfehlerquelle die Reaktionszeit der Person, die die Stoppuhr hält. Wenn der menschliche Faktor wegfällt, weil ein Sensor-Messgerät verwendet wird, ist die Streuung der erhaltenen Ergebnisse in der Regel geringer. In der Praxis sollte das Diagramm für die erhaltenen Pendelperioden (für z. B. 100 Messungen) "steiler" sein als bei manuellen Messungen – d. h. die Fehler sind kleiner und die Bereiche der Messunsicherheit sind ebenfalls kleiner.

### **Einschätzung der Unsicherheit und Messfehler – zusätzliche Informationen**

Wie bereits erwähnt, können die folgenden Arten von Fehlern bei verschiedenen Messungen auftreten:

- „grobe“ Fehler
- systematische Fehler
- zufällige Fehler

Versuchen Sie bei der Bestimmung der Erdbeschleunigung mit ihren Schüler:innen eine vollständige Fehlerberechnung durchzuführen, bei der die Messunsicherheiten, die Genauigkeit der Messgeräte und die Regeln, die sich aus einer begrenzten Anzahl von Messungen ergeben, berücksichtigt werden (Signifikanz-Test). Ist in diesem Fall ein Vergleich mit dem "wahren" Wert (wie bei der Diagonale eines A3-Blattes Papier) möglich?

## 4.2 Einheit 2: In Bewegung

### Kurzbeschreibung

In dieser Einheit lernen die Schüler:innen die Spannenergie als potentielle Energie kennen. Sie untersuchen, wie weit sich ein Objekt bewegt, wenn sie ein Gummiband dehnen und das Objekt mithilfe des Gummibands vorwärts schnellen lassen. Die Schüler:innen erkunden den Zusammenhang zwischen der Strecke, die das Objekt zurücklegt, und der Spannenergie des Gummibandes. Am Ende des Experiments nutzen die Schüler:innen die gewonnenen Erkenntnisse, um die Bewegung eines selbst gebauten Fahrzeuges zu analysieren, das durch die im Gummiband gespeicherte Energie angetrieben wird.

### Themen

Kinematik, Beschleunigung, Spannenergie, Energieumwandlung, Datenanalyse, Fahrzeugbau, Beschleunigungssensor

### Dauer

2 Unterrichtsstunden + selbstständige Arbeit der Schüler:innen zu Hause

**Format**

Im Klassenzimmer oder online

**Zielsetzung**

Einführung in das Thema Spannenergie, Untersuchung: Wovon hängt die Entfernung eines Objekts ab, das mit einem gespannten Gummiband vorwärts geschneit wurde? (Verformung eines elastischen Materials).

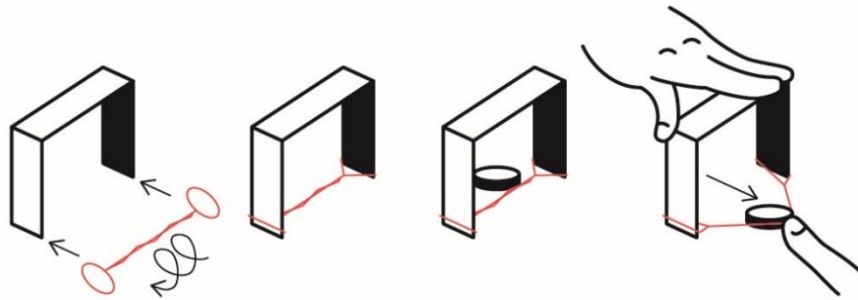
**Materialien für die Lehrkraft**

- Gummiband (Minstdurchmesser des gedehnten Gummibandes 100 mm, Querschnitt z. B. 2x3 oder 2x4 mm)
- Flaschenverschluss (vorzugsweise ein breiter Milchflaschenverschluss)
- Stabiler "U"-förmiger Rahmen, die Spannweite der Arme sollte so bemessen sein, dass sich der Flaschendeckel innerhalb des Rahmens bewegt.

**Materialien für die Schüler:innen**

- Gummiband (Minstdurchmesser eines Gummirings 100 mm, Dicke des Gummibandes z. B. 2x3 oder 2x4 mm)
- Flaschendeckel (vorzugsweise ein breiter Milchflaschendeckel)
- Stabiler "U"-förmiger Rahmen mit ausreichender Breite, so dass der Deckel leicht hindurchgleiten kann.
- Knetmasse
- Gewicht
- Ein Blatt Papier der Größe A5
- Bleistift
- Lineal
- Maßband
- Arbeitsblatt Einheit 2.a/Lektion 1

## Demonstration durch die Lehrkraft



1. Greifen Sie das Gummiband mit zwei Fingern und dehnen Sie es.
2. Verdrillen Sie das Gummiband und lassen Sie an den beiden Enden Schlaufen entstehen (s. Abb. oben).
3. Befestigen Sie die Schlaufen an den Enden der Winkelarme. Das Gummiband sollte straff gespannt sein.
4. Stellen Sie den Winkel wie ein Tor auf. Das Gummiband sollte parallel zum Boden sein.
5. Legen Sie den Deckel vor das Gummiband. Das Gummiband sollte sich etwa auf halber Höhe des Deckels befinden.
6. Drücken Sie das Tor nach unten. Drücken Sie den Deckel mit einem Finger auf den Boden. Dehnen Sie das Gummiband leicht und lassen Sie es dann los, so dass der Deckel vom Gummiband vorwärts geschleudert wird.
7. Verwenden Sie die gleiche Methode, um den Deckel nochmals zu schleudern. Spannen Sie das Gummiband dieses Mal fester.

### Fragen an die Schüler:innen nach der Demonstration

- Was ist mit dem Deckel passiert, der aus der Schleuder geschossen wurde?
- In welchem Versuch flog der Deckel weiter nach vorn?
- Wie unterschied sich der erste Versuch vom zweiten Versuch?
- Woher kam die Energie, die den Deckel in Bewegung gesetzt hat?

## Diskussion

Die Schüler:innen überlegen, welche zusätzlichen Faktoren die Flugweite des Deckels beeinflussen, abgesehen von der Kraft des Gummibandes. Die Diskussion soll weitere Forschungsfragen anregen.

## Übergeordnete Forschungsfrage

*Wovon hängt es ab, bis zu welcher Entfernung der Deckel vorwärts geschneilt wird?*

Die Diskussion kann so gelenkt werden, dass die Schüler:innen selbst Antworten auf die übergeordnete Forschungsfrage finden. Verwenden Sie Leitfragen, um die Diskussion zu moderieren.

- Welche Kräfte wirken in jedem Moment der Bewegung auf den Deckel?
- In welchem Versuch flog der Deckel weiter?
- Wie unterschied sich der erste Versuch vom zweiten Versuch?
- Woher kam die Energie, die den Deckel in Bewegung gesetzt hat?

Die Diskussion ist dazu gedacht, weitere und detailliertere Forschungsfragen und die Planung neuer Experimente anzuregen.

## Empfehlungen für die Zusammenarbeit der Schüler:innen

Wenn die Dauer der nachfolgenden Experimentiereinheiten insgesamt verkürzt werden soll, können die Schüler:innen in 2er-Teams aufgeteilt werden. In dieser Konstellation führt jedes Team eine Aufgabe und je eines der drei Experimente durch. Nach ihren Experimenten stellen die Teams ihre Ergebnisse der Klasse vor.

## Experimente und Aufgaben für die Schüler:innen

Alle Schüler:innen führen selbstständig Experimente auf einer ebenen, stabilen Fläche durch.



## Aufgabe 1: Eine Schleuder erstellen



1. Nimm das Gummiband mit zwei Fingern und dehne es.
2. Verdrille das Gummiband und lass an den beiden Enden des Gummibands Schlaufen entstehen (s. Abb. 1).
3. Befestige die Schlaufen an den Enden der Winkelarme. Das Gummiband sollte straff gespannt sein (s. Abb. 1).
4. Zeichne eine Millimeterskala von 0 – 10 cm auf ein A5-Blatt (siehe Abb. 2).

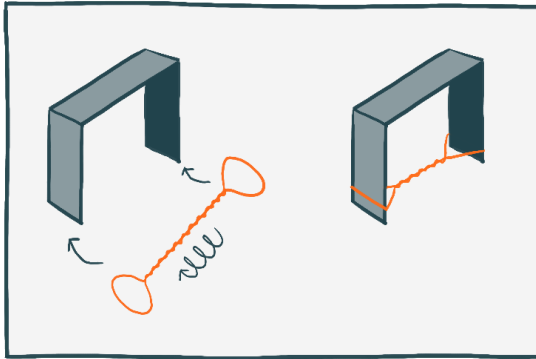


Abb. 1

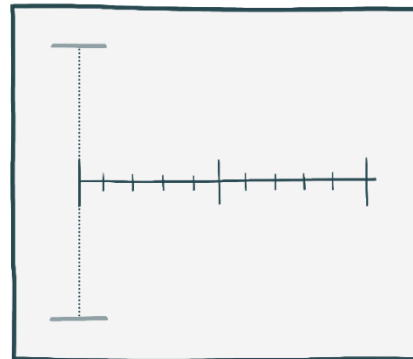


Abb. 2

### **FORSCHUNGSFRAGE 1**

*Wie beeinflusst die Spannung des Gummibandes die Entfernung, die der Deckel zurücklegt?*



1. Wiege den Deckel und notiere die Masse in der Tabelle.
2. Lege ein Blatt Papier mit einer eingezeichneten Skala darauf bereit. Positioniere die Schleuder auf dem Blatt so, dass sich das gespannte Gummiband über der Linie "0" befindet (s. Abb. 3).

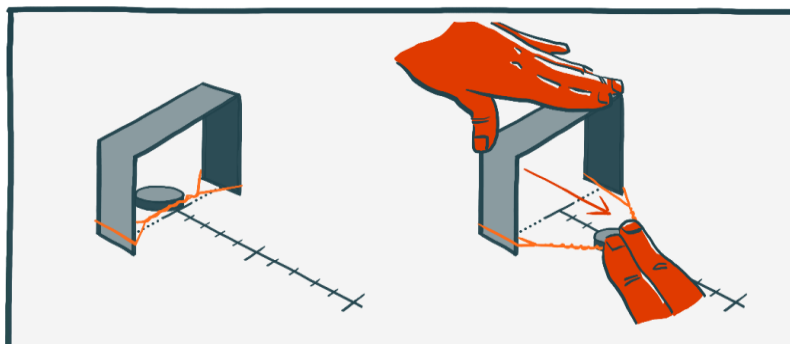


Abb. 3

3. Lege den Deckel vor das gespannte Gummiband.
4. Drücke den Winkel nach unten. Drücke den Deckel mit einem Finger auf den Boden. Ziehe das Gummiband mit dem Deckel auf 0,5 cm und lasse es dann los (s. Abb. 3).
5. Wiederhole die Messung der vom Deckel zurückgelegten Strecke fünfmal. Dehne das Gummiband mit dem Deckel bei jeder Wiederholung auf den gleichen Abstand von 0,5 cm (verwende die auf dem Papier eingezeichnete Skala). Bestimme den Durchschnittswert der Ergebnisse.
6. Wiederhole die Messung jeweils für 1/1,5/2/3 und 4 cm.
7. Trage die Ergebnisse in eine Tabelle oder in ein Tabellenkalkulationsprogramm (wie z. B. Excel oder Calc) ein und erstelle aus den Daten ein Diagramm, das die vom Deckel zurückgelegte Strecke und die Spannung des Gummibands bei einem leeren Deckel darstellt.

Gewicht des Deckels = .....g

Material des Deckels .....

Material der Unterlage .....

Spannung des Gummibandes d [cm]	0	0,5	1	1,5	2	3	4
Durchschnittliche Strecke, die der Deckel zurückgelegt hat s [cm]	0						



## FORSCHUNGSFRAGE 2

Wie wirkt sich die Masse des Deckels auf die Entfernung aus, die der Deckel zurücklegt?



1. Wiederhole die Messungen, wobei du diesmal das Gummiband immer gleich dehnt ( $d = \text{const}$ ), aber die Masse des Deckels jedes Mal durch Hinzufügen eines Stücks Knetmasse erhöhst. Wiege jedes Mal den Deckel und trage seine Masse in die Tabelle ein, bevor du mit den Messungen fortfährst.
2. Trage die Ergebnisse in eine Tabelle oder in ein Tabellenkalkulationsprogramm (wie z. B. Excel oder Calc) ein und erstelle aus den Daten ein Diagramm, das die vom Deckel zurückgelegte Strecke und das Gewicht des Deckels darstellt.

Spannung des Gummibandes  $d = \dots\dots\dots\text{cm}$

Material des Deckels  $\dots\dots\dots$

Material der Unterlage  $\dots\dots\dots$

Gewicht des Deckels $m [\text{g}]$							
Durchschnittliche Strecke, die der Deckel zurückgelegt hat $s [\text{cm}]$							

### FORSCHUNGSFRAGE 3

*Beeinflusst das Material des Deckels oder das der Unterlage die Entfernung, die der Deckel zurücklegt?*



1. Wiederhole die Messungen, schieße diesmal einen Deckel mit derselben Masse ( $m = \text{const}$ ) und dehne das Gummiband immer gleich ( $d = \text{const}$ ), ändere aber das Material des Deckels und der Unterlage. Trage die Ergebnisse in eine Tabelle oder in ein Tabellenkalkulationsprogramm (wie z. B. Excel oder Calc) ein und verwende sie, um die vom Deckel zurückgelegte Strecke gegen die Spannung des Gummibandes aufzutragen.
2. Trage deine Ergebnisse in eine Tabelle ein und vergleiche sie. Versuche, den Reibungskoeffizienten der getesteten Materialien im Internet zu finden und stelle die vom Deckel zurückgelegte Strecke im Verhältnis zum Reibungskoeffizienten graphisch dar.

Spannung des Gummibandes  $d = \dots\dots\dots\text{cm}$

Masse des Deckels =  $\dots\dots\dots\text{g}$

Material des Deckels/ der Unterlage	$\dots\dots\dots/$ $\dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots/$ $\dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots/$ $\dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots/$ $\dots\dots\dots$
Reibungs- koeffizient $f$	$\dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$	$\dots\dots\dots$
Durchschnittliche Strecke, die der Deckel zurückgelegt hat $s [\text{cm}]$				

## Troubleshooting

Nach dem Abfeuern hüpft der Deckel.

- Drücke den Deckel solange nach unten, bis du ihn abfeuerst.
- Beschwere den Deckel mit Knetmasse. Denke daran, die Knetmasse gleichmäßig auf der gesamten Oberfläche des Deckels zu verteilen.
- Überprüfe, ob das Gummiband auf halber Höhe des Deckels sitzt.

Gummis dehnen sich, sie kehren nicht auf ihre ursprüngliche Länge zurück.

- Dehne das Gummiband beim Schießen nicht zu sehr.

Das Blatt mit der Skala oder der Rahmen bewegen sich beim Schießen.

- Fixiere das Blatt mit der Skala z. B. mit doppelseitigem Klebeband. Drücke den Rahmen die ganze Zeit fest an.

Wie kann ich das Material des Deckels ändern, ohne seine Masse zu verändern?

- Verwende einen Deckel mit einer bestimmten Menge an Knetmasse. Wenn du ein anderes Material auf die Oberfläche des Deckels klebst (z. B. Malerband oder ein Stück Papier), wiege den Deckel und nimm so viel Knetmasse weg, dass der Deckel sein ursprüngliches Gewicht behält.

## Zusammenfassung der Experimente

Leitfragen:

- Sind die sich ergebenden Beziehungen linear, quadratisch oder anderer Art?
- Welcher Parameter hat den größten Einfluss auf die Entfernung, die der Deckel erreicht?
- Haben alle Schüler:innen die gleichen Beziehungen gefunden? Was könnten die Gründe für etwaige Unterschiede sein?

Die Spannenergie kann dazu verwendet werden, eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen, d. h. den Deckel eine bestimmte Strecke zu bewegen. Je größer die Spannung des Gummibandes (Abweichung von 0), umso größer wird die vom Deckel zurückgelegte Strecke sein. Die Beziehung zwischen der von dem Deckel zurückgelegten Strecke und der Spannung des Gummibandes ist quadratisch. Eine Vergrößerung der Reichweite des Deckels erfordert eine Erhöhung der Spannung des Gummibandes, d. h. einen größeren Energieaufwand. Eine Erhöhung der Masse des Deckels bedeutet gleichzeitig eine Erhöhung seines Gewichts, was sich auf die Reibungskraft auswirkt, die der Bewegung des Deckels entgegenwirkt. Je größer also die Masse des Deckels ist, desto größer ist die Reibungskraft, die auf den sich bewegenden Deckel einwirkt, und desto kürzer ist der Weg, den der Deckel zurücklegt. Eine Änderung des Materials des Deckels oder des Untergrunds wirkt sich ebenfalls auf die Reibungskraft aus, und es sind unterschiedliche Entfernungen zu beobachten, über die sich der Deckel bewegt.

## Erklärung des Phänomens

Die Spannenergie ist die in einem elastischen Körper (z. B. einer Feder, einem Gummiband, einer Bogensehne usw.) gespeicherte Energie. Wenn der Körper vollkommen elastisch ist, d. h. das Hooke'sche Gesetz erfüllt ist, dann ist die Kraft  $F$ , die erforderlich ist, um den elastischen Körper um eine Länge  $x$  zu dehnen:

$$F = kx$$

wobei:  $k$  = Elastizitätskonstante.

Die Spannenergie  $E_{\text{spann}}$ , die in einem gedehnten Gummiband gespeichert ist, ist dann gleich:

$$E_{\text{spann}} = \frac{kx^2}{2}$$

Anders ausgedrückt: Die Energie steigt proportional zum Quadrat der Dehnung des elastischen Körpers. Im Experiment wird der elastische Körper (Gummiband) verlängert, wenn er vor dem Abschießen gedehnt wird. Wenn das gedehnte Gummiband losgelassen wird, wird die gespeicherte Spannenergie auf den Deckel übertragen, der damit eine bestimmte Arbeit verrichtet, d. h. sich eine bestimmte Strecke bewegt. Mit einigen Vereinfachungen (z. B. wird die gesamte im Gummiband gespeicherte Energie verlustfrei auf den Deckel übertragen) kann man davon ausgehen, dass:  $E_{\text{spann}} = W$

wobei:

$W$  = Arbeit, die vom Deckel auf der zurückgelegten Strecke  $s$  gegen die der Bewegung entgegengerichteten Kräfte geleistet wird. Wenn die Luftwiderstandskräfte vernachlässigt werden, handelt es sich um die Reibungskraft  $F_R$ . Diese kann durch die folgende Formel ausgedrückt werden  $W_R = F_R s$

Ein sich bewegendes Deckel erfährt eine Reibungskraft, die der Bewegung des Deckels entgegengesetzt ist. Die Formel für die Reibungskraft lautet:

$$F_R = \mu F_N$$

Wobei:

$\mu$  – Reibungskoeffizient;

$F_N$  – die Normalkraft (in diesem Fall die Gewichtskraft).

So ergibt sich:

$$F_R = \mu m g$$

wobei:

m – Masse des Deckels;

g – Ortsfaktor (= Erdbeschleunigung).

Die Umwandlung der Spannenergie des Gummibandes in Arbeit, die vom Deckel gegen die wirkende Reibungskraft verrichtet wird, wird durch folgende Gleichungen ausgedrückt:

$$E_s = W \Rightarrow \frac{kx^2}{2} = F_R s \Rightarrow \frac{kx^2}{2} = \mu m g s$$

Daraus lässt sich der von dem Deckel zurückgelegte Weg s bestimmen:

$$s = \frac{kx^2}{2\mu m g}$$

Bei einem festen Messsystem (gleiches Gummiband, gleicher Deckel und gleiches Untergrundmaterial) kann nur die Spannung des Gummibandes variiert werden, um den Deckel unterschiedlich weit zu bewegen.

Die Schüler:innen haben verschiedene Messsysteme mit unterschiedlichen Parametern gebaut, daher variierten die Ergebnisse, die sie erhalten haben. Wenn das Gummiband in einer Anordnung etwas stärker verdreht wurde als in einer anderen, ergaben sich unterschiedliche Ergebnisse. Ein stärker verdrehtes Gummiband hat eine andere Elastizitätskonstante. Auch bei Experimenten, bei denen ein Messsystem auf einem Teppichboden und das andere auf einer Schulbank aufgestellt wurde, resultierten unterschiedliche Ergebnisse – die Reibungskoeffizienten sind in beiden Systemen unterschiedlich.

### **Andere Anwendungen**

Gedrehte Gummibänder werden im Modellbau häufig als Antriebssystem für Miniaturmodellflugzeuge verwendet. Die Hauptvorteile dieser Lösung sind die relativ einfache Konstruktion, das geringe Gewicht und die niedrigen Kosten. Ein weiteres Beispiel für die Verwendung von elastischen Strukturen sind Blatt- oder Sprungfedern in Fahrzeugen.

## 4.4 Einheit 2.b Gummibandantrieb (Lektion 2)

### Format

Im Klassenzimmer oder online

### Zielsetzung

Den Gummibandantrieb einzuführen, der auf der Verformung elastischen Materials beruht, und den Schüler:innen zu zeigen, wie dieser Antrieb funktioniert. Den Schüler:innen die Arduino Science Journal App vorzustellen und die App auszuprobieren.



### Materialien für die Lehrkraft

- Ein bereits aufgebautes Fahrzeug
- Smartphone mit der Arduino Science Journal App

### Materialien für die Schüler:innen

- Smartphone
- Bedienungsanleitung für die Arduino Science Journal App

### Demonstration durch die Lehrkraft

1. Sie zeigen den Schüler:innen, wie ein von einem Gummiband angetriebenes Fahrzeug gebaut wird und welche Komponenten wichtig sind.
2. Sie demonstrieren den Schüler:innen die Fahrweise und Fahrweite eines solchen Fahrzeugs, indem Sie den Gummiband-Antrieb aufziehen und das Fahrzeug fahren lassen.

### Fragen an die Schüler:innen nach der Demonstration

- Was passiert mit dem Gummiband vor und während der Bewegung des Fahrzeugs?
- Wie bewegt sich das gummibandbetriebene Fahrzeug?
- Wie wird das Gummiband gespannt?
- Wie weit kann sich ein solches Fahrzeug fortbewegen?

## Diskussion

Die Diskussion soll den Schüler:innen die physikalischen Gesetze, die für die Bewegung des Gummibandfahrzeugs verantwortlich sind, verdeutlichen und das in der vorangegangenen Stunde erworbene Wissen festigen.

## Übergeordnete Forschungsfrage

*Wie bewegt sich ein Fahrzeug mit Gummibandantrieb?*

Sie können folgende unterstützenden Fragen zur Moderation der Diskussion verwenden:

- Welche Art von Energie hat ein gespanntes Gummiband?
- Wie treibt das Gummiband das Fahrzeug an?
- Welche Kräfte bewirken, dass das Fahrzeug nach einer gewissen Zeit zum Stillstand kommt?
- Welche Art von Bewegung führt das Fahrzeug aus und wie lässt sich diese Bewegung untersuchen?
- Welchen Sensor können wir verwenden, um die Bewegung des Fahrzeugs zu untersuchen?
- Gibt es einen solchen Sensor in deinem Smartphone?

## Das Handy als Messinstrument

Mit der Arduino Science Journal App lässt sich die Bewegung eines Gummibandfahrzeugs besser analysieren. Die Anwendung nutzt die in unseren Smartphones eingebauten Sensoren. Für die Analyse ist ein Beschleunigungssensor nötig, anderenfalls ein Beschleunigungsmesser.

1. Die Schüler:innen installieren die Arduino Science Journal App auf ihren Handys.
2. Die Lehrkraft zeigt den Schüler:innen, wie sie die Beschleunigungsmessung einrichten können und wie sie diese starten. Die Lehrkraft bittet die Schüler:innen, die Beschleunigungsmessung auf ihren eigenen Smartphones einzurichten und zu starten.
3. Die Lehrkraft bittet die Schüler:innen, ihre Handys in verschiedene Richtungen zu bewegen und zu beobachten, was auf dem Display passiert, je nachdem, welche Richtung der Beschleunigung gewählt wurde (es gibt drei zur Auswahl: entlang der x-, y- und z-Achse).



4. Danach bittet die Lehrkraft die Schüler:innen, mehrere Beschleunigungsmessungen entlang einer der ausgewählten Achsen aufzuzeichnen, während sie ihre Handys in verschiedene Richtungen bewegen, und die daraus resultierenden Diagramme zu analysieren.



### **Fragen und Aufgaben, die die Schüler:innen selbständig bearbeiten:**

- Was siehst du auf dem Display deines Handys? Was wird dir in der Grafik angezeigt?
- Welche Daten zeichnet der Beschleunigungssensor auf?
- Was ist der Unterschied zwischen den Beschleunigungsmessungen, die in der App als x, y, z bezeichnet werden?
- Bewege das Handy auf einer ebenen Fläche nur in Richtung seiner langen Kante und beobachte, entlang welcher Achse sich die Beschleunigung ändert.

Für eine Erläuterung zur Benutzung der Arduino Science Journal App für verschiedene Messungen s. Kap. 5. Anhang – Wie man Sensoren mit der Arduino Science Journal App verwendet, S. 78. Es ist auch möglich, die Messungen mit Phyphox durchzuführen, wenn Sie mit Phyphox besser vertraut sind (s. <https://phyphox.org/de/home-de/>).

### **Zusammenfassung**

Mit Hilfe des Smartphones lässt sich herausfinden, welche Bewegung das gummibandbetriebene Fahrzeug ausführt. Die Lehrkraft bittet die Schüler:innen, den nächsten Schritt, die Hausaufgabe, selbstständig zuhause zu bearbeiten.

Unterstützende Fragen:

- In welcher Richtung ist das Smartphone am Fahrzeug zu befestigen, um die Beschleunigung des Fahrzeugs über die Zeit korrekt zu messen?
- Welche Beschleunigungswerte sind in der App aufzuzeichnen: x, y, oder z?

## HAUSAUFGABE – Fahrzeugbau und Durchführen der Untersuchung mit dem Fahrzeug

### **Format**

Selbstständiges Arbeiten der Schüler:innen von zu Hause aus oder in kleinen Gruppen in der Schule.

### **Zielsetzung**

Die Schüler:innen bauen ein Fahrzeug und messen damit die Beschleunigung und die Entfernung, die das Fahrzeug in Abhängigkeit von der Spannung des Gummibandes, das es antreibt, zurücklegt.



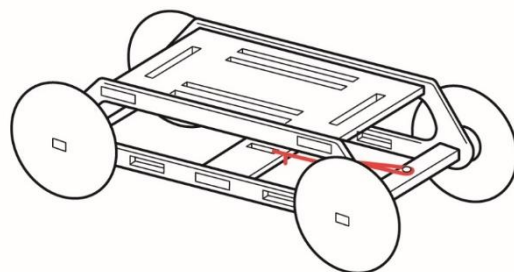
### **Materialien für die Schüler:innen**

- Teile für den Bau eines Fahrzeugs (mit einem 3D-Drucker ausgedruckt oder aus hartem Material geschnitten – Sperrholz, fester Karton)
- Bauanleitung
- Smartphone
- Bedienungsanleitung für die Handy-App Arduino Science Journal (oder alternativ für Phyphox)
- Gummibänder (4 für die Räder des Fahrzeugs und 1-3 für den Antrieb)
- Maßband
- Arbeitsblatt für die Schüler:innen Einheit 2b/Lektion 2, Hausaufgabe

### Aufgabe 1: Bau des Fahrzeugs



1. Drucke oder schneide die benötigten Teile aus.
2. Baue das Fahrzeug entsprechend der Anleitung zusammen.



## FORSCHUNGSFRAGE 1

*Welche Art von Bewegung führt ein Fahrzeug aus, das von einem Gummiband angetrieben wird?*



### Teil I: Untersuchung der Beschleunigung

1. Starte die vorinstallierte App (Arduino Science Journal oder Phyphox) auf deinem Smartphone.
2. Befestige das Smartphone mit den Gummibändern an dem Fahrzeug.
3. Wähle in der App die Messung des Beschleunigungssensors entlang der entsprechenden Achse aus.
4. Stelle das Fahrzeug auf den Boden und dehne das Gummiband, indem du die Hinterräder 4 volle Umdrehungen drehst.
5. Starte die Aufzeichnung der Beschleunigungsmessung auf deinem Handy und lasse gleichzeitig das Fahrzeug los.
6. Wenn das Fahrzeug anhält, stoppe die Messung und miss die Strecke, die das Fahrzeug zurückgelegt hat, mit dem Maßband.
7. Wiederhole die Messung mehrere Male, aber mit unterschiedlichen Gummibandspannungen.
8. Übertrage deine Messungen in ein Tabellenkalkulationsprogramm (wie z. B. Excel oder Calc) und verwende sie, um die Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit für verschiedene Spannungen des Gummibandes grafisch darzustellen.

### Fragen, die die Schüler:innen selbständig beantworten:

- Was wird in der Smartphone-App angezeigt?
- Wurde eine Beschleunigungsmessung aufgezeichnet?
- Unter welcher Dateierweiterung werden die Messergebnisse gespeichert?
- Liest das Tabellenkalkulationsprogramm die gemessenen Daten korrekt ein?
- Welche Form hat das Diagramm der Beschleunigung über die Zeit?
- Zu welchem Zeitpunkt hat sich das Fahrzeug in Bewegung gesetzt?
- Wie bewegt sich das Fahrzeug?



## Teil 2: Datenanalyse

1. Analysiere die Diagramme der Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit für die verschiedenen Spannungen des Gummibandes.
2. Versuche, anhand der gemessenen Beschleunigungsdaten die Werte der Geschwindigkeit und der Entfernung in Abhängigkeit von der Zeit zu berechnen bzw. graphisch darzustellen
3. Analysiere die Diagramme und versuche zu bestimmen, welche Art der Bewegung das Auto ausgeführt hat.

### Fragen, die die Schüler:innen selbstständig bearbeiten:

- Wie verändert sich die Beschleunigung, wenn sich das Fahrzeug bewegt?
- Wie ändert sich die Geschwindigkeit, wenn sich das Fahrzeug bewegt?
- Mit welcher Bewegung bewegt sich das Fahrzeug? Versuche die Teile des Diagramms zu erfassen, in denen sich das Fahrzeug gleichmäßig bewegt, gleichmäßig beschleunigt, ungleichmäßig beschleunigt, verlangsamt usw.
- Wie weit ist das Fahrzeug gefahren, als das Gummiband mit einer 4-fachen Drehung des Rades gespannt wurde, und wie ist es bei größeren und kleineren Spannungen gefahren?
- Vergleiche die sich aus dem Diagramm ergebenden Werte für die Strecken, die das Fahrzeug zurückgelegt hat, mit denen, die du mit dem Maßband gemessen hast. Woher könnten eventuelle Unterschiede kommen?
- Was kann an der Konstruktion geändert werden, damit das Fahrzeug bei gleicher Spannung des Gummibandes längere Strecken zurücklegt?
- Setze deine Änderungsvorschläge um und überprüfe, ob das Fahrzeug tatsächlich größere Strecken zurücklegt.

### Troubleshooting

Das Fahrzeug bewegt sich nicht.

- Möglicherweise ist die Kraft des Gummibandes zu schwach. Verdrehe das Gummiband stärker oder kombiniere 2-3 Gummibänder zu einem.

- Möglicherweise ist die Reibung zwischen der Achse des Fahrzeugs und dem Seitenrahmen zu groß. In diesem Fall solltest du eine kleine Feile verwenden und die Kontaktflächen zwischen Achse und Seitenrahmen leicht abschleifen.

Das Fahrzeug bewegt sich nicht in einer geraden Linie.

- Wenn die Verbindung zwischen den Rädern und der Achse zu locker ist, kannst du versuchen, den Spielraum z. B. mit Papierstücken auszugleichen. Du kannst die Struktur auch mit einem für Kunststoff geeigneten Kleber versteifen, allerdings ist es dann nicht mehr möglich, sie für Änderungen zu entfernen.

Die Räder rutschen am Anfang.

- Bringe Gummipuffer an den Rädern an oder stelle das Fahrzeug z. B. auf einen Teppichboden, um die Reibung zwischen Rädern und Boden zu erhöhen.

Die Bewegung ist zu gering, um von einem Smartphone registriert zu werden.

- Das Gummiband sollte fester gespannt werden, oder wenn dies nicht möglich ist, sollte ein größeres und dickeres Gummiband verwendet werden.

Die Daten werden im Tabellenkalkulationsprogramm (z. B. Excel oder Calc) nicht korrekt angezeigt.

- Bevor du eine \*.csv-Datei in Excel öffnest, öffne sie in Notepad und überprüfe, wie die Daten geschrieben sind. Wenn einzelne Spalten durch ";" getrennt sind, ersetze diese durch ",". Außerdem können Fließkommadaten mit einem Punkt geschrieben werden; damit Excel sie richtig lesen kann, muss "." durch "," ersetzt werden.

Es ist schwierig, die Messung zu starten und gleichzeitig loszulassen.

- Das ist ganz normal. Es ist wichtig, die Messung zu starten, bevor du das Fahrzeug loslässt. Das Diagramm zeigt den Zeitpunkt an, an dem die Bewegung beginnt (die Beschleunigung nimmt von 0 an zu). Die Daten in der Kalkulationstabelle kannst du so verarbeiten, dass du den Teil vor dem Beginn der Bewegung ausschneidest. Denke daran, die Zeitwerte entsprechend zu ändern.

## 4.5 Einheit 2.c Vergleich der Ergebnisse (Lektion 3)

### Format

Im Klassenzimmer oder als Online-Meeting mit den Schüler:innen

### Zielsetzung

Der Gruppe die eigene Datenanalyse präsentieren und die Ergebnisse mit denen der anderen Schüler:innen vergleichen.



### Materialien für die Schüler:innen

- Ausgefüllte Arbeitsblätter
- Ergebnisse aus Aufgaben und Experimenten (Tabellen, Diagramme)

### Zusammenfassung

Analyse des Beschleunigungsdiagramms

- Die Lehrkraft bittet eine Schüler:in, das eigene Diagramm zur Beschleunigung über die Zeit (für die mit dem Gummibandfahrzeug erhobenen Messdaten) zu zeigen oder zu teilen.
- Die Schüler:innen und die Lehrkraft diskutieren gemeinsam über die verschiedenen Bewegungsphasen des Fahrzeugs.
- Die Lehrkraft fragt, ob jemand ein anderes Diagramm erhalten hat und lässt die entsprechenden Schüler:innen das eigene Diagramm der Gruppe vorstellen.
- Die Schüler:innen und die Lehrkraft diskutieren gemeinsam die Unterschiede und fragen, woher diese Unterschiede stammen.

Unterstützende Fragen:

- An welchem Punkt des Diagramms hat das Fahrzeug die größte Beschleunigung?
- Wie hoch war die maximale Beschleunigung bei einer Gummibandspannung, bei der das Rad zwei Mal gedreht wurde?
- Erreichten alle Fahrzeuge bei gleicher Gummibandspannung eine ähnliche Beschleunigung?
- Wie unterscheiden sich die Konstruktionen und wie wirkt sich dies auf die Ergebnisse aus?
- Was können wir an der Konstruktion ändern, damit das Fahrzeug längere Strecken zurücklegen kann?

## 4.6 Einheit 3 Pendel

### Kurzbeschreibung

In diesem Experiment lernen die Schüler:innen, wie ein mathematisches Pendel funktioniert. Die Schüler:innen konstruieren ein eigenes Messwerkzeug, mit dem sie die Schwingungsdauer des Pendels messen. Sie untersuchen, von welchen Parametern die Schwingungsdauer des Pendels abhängt. Die Schüler:innen nutzen das erworbene Wissen, um experimentell die Erdbeschleunigung zu bestimmen.

### Themen

Mathematisches Pendel, harmonische Bewegung, Amplitude, Schwingungsdauer, Erdbeschleunigung, Datenanalyse, Konstruktion von Messgeräten.

### Dauer

3 Unterrichtsstunden + selbständige Arbeit der Schüler:innen zu Hause

**Format**

Im Klassenzimmer oder als Online-Meeting mit den Schüler:innen

**Zielsetzung**

Analyse der Bewegung eines mathematischen Pendels, Bau des Pendels und Berechnung seiner Schwingungsdauer.

**Materialien für die Lehrkraft**

- Selbstgebautes Modell eines mathematischen Pendels
- Stoppuhr

**Materialien für die Schüler:innen**

- Schraubenmutter M8 oder ähnliche Pendelmasse (Durchmesser ca. 1,5 cm; Gewicht ca. 4,5 g)
- Nicht dehnbare Schnur, ca. 1 m lang
- Klebeband
- Starre Stange zum Aufhängen des Fadens
- Stabile Konstruktion zum Befestigen der Stange in geeigneter Höhe, so dass Schnur und Pendelmasse frei hängen (Stativ, Tisch oder Schreibtisch)
- Blatt Papier A4 oder A3
- Winkelmesser, z. B. Geodreieck
- Bleistift
- langes Lineal oder Maßband (mindestens 50 cm)
- Stoppuhr (z. B. im Smartphone)
- Arbeitsblatt für die Schüler:innen – Einheit 3.a, Lektion 1





### **Gemeinsames Mess-Experiment**

1. Lenken Sie als Lehrkraft das Pendel aus der Gleichgewichtslage aus und lassen Sie es los, um es in Bewegung zu setzen. Beobachten Sie gemeinsam mit ihren Schüler:innen die Bewegung des Pendels.
2. Messen Sie gemeinsam mit den Schüler:innen mit Hilfe einer Stoppuhr die Zeit, die das Pendelgewicht bei mehreren aufeinanderfolgenden Schwingungen benötigt, um hin und her zu schwingen.
3. Notieren Sie die Zeiten der einzelnen Schwingungen und vergleichen Sie sie miteinander.

### **Fragen an die Schüler:innen nach dem Mess-Experiment**

- Wie bewegt sich ein Gewicht, das am Ende eines Pendels hängt?
- Wie groß ist die Zeitdifferenz zwischen den einzelnen Schwingungen?
- Verändert sich diese Zeitdifferenz von Schwingung zu Schwingung?
- Wie nennt man die Zeitdifferenz, die sich zwischen den beiden maximalen Pendelausschlägen einer Schwingung messen lässt?

### **Diskussion**

Ziel dieser Diskussion ist es, dass die Schüler:innen erkennen, was die Schwingungsdauer eines Pendels ist.

### **Übergeordnete Forschungsfrage**

*Was ist die Schwingungsdauer des Pendels?*

Leiten Sie die Diskussion so, dass die Schüler:innen ihre eigenen Pendel bauen und deren Schwingungsdauer messen.

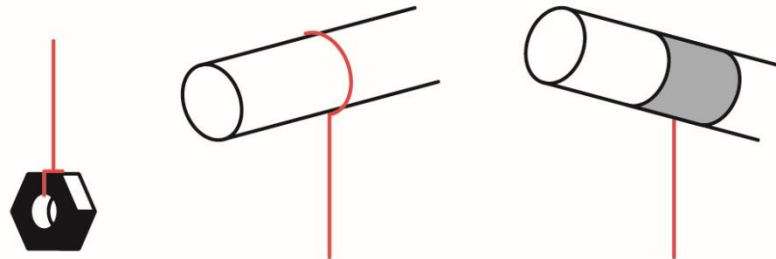
### **Experimente und Aufgaben für die Schüler:innen**

Alle Schüler:innen führen selbstständig Experimente auf einer ebenen, stabilen Fläche durch.

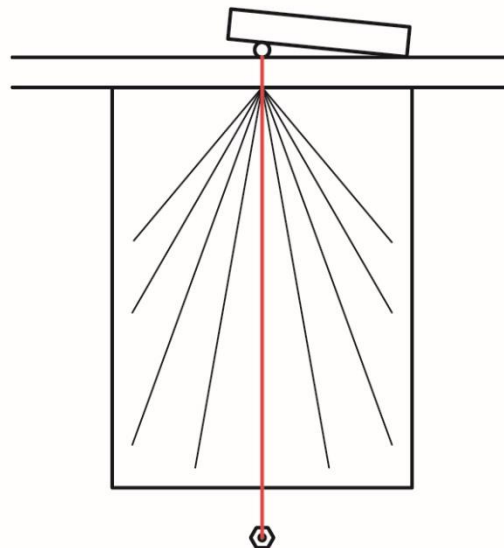
## Aufgabe 1: Aufbau des Pendels



1. Befestige die Schraubenmutter an einer Schnur.
2. Befestige das andere Ende der Schnur an der Stange und fixiere den Aufhängepunkt mit Klebeband.



3. Befestige die Stange an einer stabilen Struktur, so dass die Pendelmasse frei am Faden hängt.
4. Zeichne auf ein A4- oder A3-Blatt eine Winkelskala (wie in der Abbildung unten gezeigt).



5. Platziere das Blatt so hinter den Faden, dass der Mittelpunkt der Skala mit dem Punkt, an dem der Faden an der Stange hängt, auf einer Linie liegt.

## FORSCHUNGSFRAGE 1

Wie groß ist die Schwingungsdauer deines selbst gebauten Pendels?



- Lenke das Pendel um **10 Grad aus**. Lasse das Pendel los, **während du die Stoppuhr einschaltest**.
- Zähle die Ausschläge, stoppe beim fünften Mal die Stoppuhr und notiere das Ergebnis.
- Berechne die Schwingungsdauer des Pendels, indem du das Ergebnis durch 5 teilst.
- Wiederhole die Messung mehrmals und bilde aus deinen Messwerten den Durchschnittswert. Das Ergebnis, das du erhältst, ist der Wert der Schwingungsdauer deines selbst gebauten Pendels.

### Troubleshooting

Während der Pendelbewegung sind die Zeitunterschiede zwischen den einzelnen Schwingungen zu groß.

- Achte darauf, dass der Aufhängepunkt des Pendels sich nicht bewegt.
- Die Zeit sollte von mehreren Personen gemessen werden. Wenn du mehrere Schüler:innen zur Teilnahme an dem Versuch einlädst, können große Fehler vermieden werden.
- Verwende eine Stoppuhr mit Messfunktion. Diese Funktion hilft, Messfehler zu vermeiden – du kannst dich auf die Pendelbewegung konzentrieren und durch Drücken der entsprechenden Taste werden die Ergebnisse automatisch aufgezeichnet.
- Die Auslenkung des Pendels sollte klein sein, vorzugsweise etwa 10 Grad.

Bei wiederholten Messungen mit konstanten Parametern treten große Unterschiede in den Messwerten der Schwingungsdauer auf.

- Du kannst die Anzahl der gezählten Pendelausschläge erhöhen, wodurch Fehler aufgrund der Reaktionszeit beim Zählen der Zeitwerte aufeinanderfolgender Ausschläge minimiert werden.
- Beziehe extrem abweichende Werte (grobe Fehler) nicht in den berechneten Mittelwert ein.

Der Aufhängepunkt bewegt sich mit der Bewegung des Pendels.

- Fixiere den Aufhängepunkt, z. B. mit Knetmasse oder Heißkleber.

## Zusammenfassung des Experiments

Unterstützende Fragen:

- Welche Werte für die Schwingungsdauer hast du erhalten?
- Haben alle die gleichen Werte erhalten und falls nein, woher könnten die Unterschiede kommen?
- Worin unterscheiden sich die einzelnen Pendel?

Ein Pendel (ein an einem Faden hängendes Gewicht) bewegt sich in einem Bogen hin und her. Ein voller Ausschlag ist die Strecke, die das Pendel vom Beginn der Bewegung bis zur Rückkehr zum Ausgangspunkt zurücklegt. Die Zeit, die das Pendel braucht, um eine volle Schwingung auszuführen, ist konstant. Diese Zeit ist die **Schwingungsdauer des Pendels**, deren Wert von der Bauart des Pendels abhängt.

Die experimentell ermittelten Werte der Schwingungsperioden verschiedener Pendel werden unterschiedlich sein. Das ist normal, da die Schüler:innen ihre Pendel unterschiedlich gebaut haben. In der nächsten Lektion werden wir versuchen herauszufinden, welche Parameter die Schwingungsdauer eines Pendels beeinflussen.

Unterschiedliche Werte für dieselbe Pendelkonstruktion sind auf menschliche Fehler zurückzuführen. Das menschliche Auge und die Reaktionszeit beeinflussen, wie prompt die Stoppuhr gestoppt wird. Um solche Fehler zu vermeiden, kann ein Messaufbau mit einem Sensor verwendet werden, um die Zeit automatisch zu messen.

Eine Hausaufgabe für die Schüler:innen besteht darin, einen solches Messwerkzeug zu planen und zu bauen.

## HAUSAUFGABE 1 – Messwerkzeug

### **Format**

Selbstständige Arbeit der Schüler:innen zu Hause oder in kleinen Gruppen in der Schule.

### **Zielsetzung**

Die Schüler:innen planen und bauen ein Messwerkzeug, mit dem sie – direkt oder indirekt – die Schwingungsdauer ihres Pendels automatisch messen können.



### **Materialien für die Lehrkraft**

- Keine

### **Materialien für die Schüler:innen**

- Smartphone mit Lichtsensor und App oder Mikrocontroller mit Lichtsensor
- Bauelemente
- Aufgebautes Pendel für die Untersuchung

Tipps für Schüler:innen zur Herstellung eines Messwerkzeugs:

### **Auswahl des Sensors**

- Der Sensor sollte es ermöglichen, Veränderungen in der Bewegung des Pendels aufzuzeichnen.
- Der Sensor sollte nicht merklich auf Veränderungen in der Umgebung reagieren.

### **Montage des Sensors**

- Die Konstruktion und der Sensor selbst sollten die Bewegung des Pendels nicht blockieren oder stören. Wenn z. B. der Sensor an der Pendelmasse angebracht wird, ist wichtig, dass der Sensor eine Stromversorgung braucht. Das Gewicht oder die Steifigkeit des Stromkabels kann die Bewegung des Pendels stören. Bei einer solchen Lösung ist darauf zu achten, die genannten Probleme auszuschließen.
- Der Sensor sollte stabil montiert werden, damit z. B. Vibrationen oder andere Bewegungen des Sensors die Messergebnisse nicht beeinflussen.

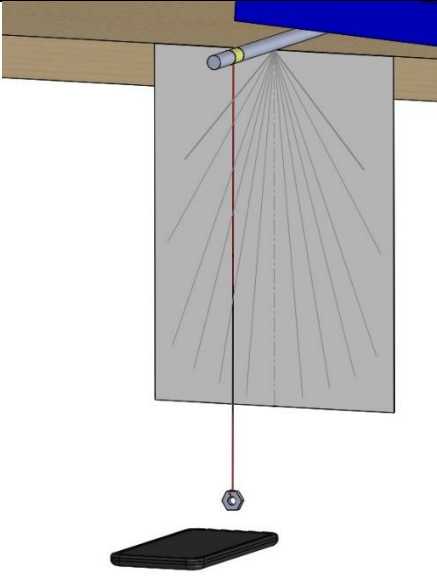
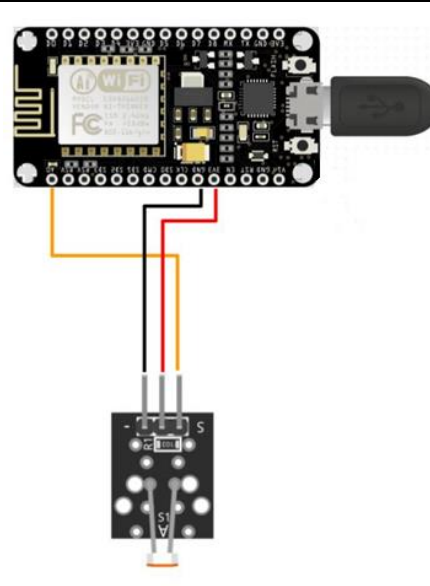


### Test des selbst gebauten Messwerkzeugs

- Wenn du dein Messgerät gebaut und möglicherweise darüber hinaus programmiert hast, teste es mit dem aufgebauten Pendel.
- Überprüfe, welche Daten du erhältst und ob du daraus – direkt oder indirekt – die Schwingungsdauer des Pendels ablesen kannst.
- Du überprüfst, ob die erhaltenen Daten korrekt sind: Wenn du z. B. Daten mit deinem Messgerät zur Schwingungsdauer des Pendels erfasst, misst du die Zeiten gleichzeitig mit einer Stoppuhr. Du vergleichst die Zeiten, die du mit der Stoppuhr misst, mit denen, die dein Messwerkzeug dir angibt (kleine Abweichungen sind normal).
- Falls nötig, verbesserst du die Programmierung oder den Aufbau deines Messwerkzeugs.
- Wenn du die Schwingungsdauer nicht aus den Daten ablesen kannst und die Korrekturen, die du vorgenommen hast, keine Verbesserung bewirkt haben, denke darüber nach, ein neues Messwerkzeug mit einem anderen Sensor zu entwickeln.

## Lösungsbeispiele:

### VERWENDUNG DES LICHTSENSORS

	
<p>Das Smartphone wird so platziert, dass die Frontkamera, – welche als Lichtsensor fungiert – unter der frei hängenden Pendelmasse liegt. Wenn sich das Pendel bewegt, verschattet die Pendelmasse den Lichtsensor. Dank der Arduino Science Journal bzw. Phyphox-App können wir die Momente aufzeichnen, in denen der Sensor durch die Pendelmasse verschattet wird. Danach kann der Wert der Schwingungs-dauer des Pendels aus dem aufgezeichneten Diagramm abgelesen werden.</p>	<p>Ein nodeMCU-Mikrocontroller (ein kompaktes kleines und sehr schnelles Controllerboard) und ein daran angeschlossener Lichtsensor bilden zusammen das Messgerät. Der Lichtsensor ist ein Fotowiderstand, der, analog zur Handykamera, unter der frei hängenden Pendelmasse platziert wird. Der Mikrocontroller ist so programmiert, dass er die aufgezeichneten Sensor-Daten über Wifi an den Computer sendet. Aus den Daten auf dem Computer lässt sich die Schwingungsdauer des Pendels ablesen bzw. berechnen.</p>

**Format**

Im Klassenzimmer oder als Online-Meeting mit den Schüler:innen

**Zielsetzung**

Analysieren der Bewegung eines Pendels. Untersuchen, von welchen Parametern die Schwingungsdauer eines Pendels abhängt.

**Materialien für die Schüler:innen**

- Aufgebautes Pendel
- Messgerät bzw. Messaufbau
- Waage mit 0,1 g Genauigkeit
- Arbeitsblatt für die Schüler:innen – Einheit 3.b/Lektion 2

**Zusammenfassung der Hausaufgaben – Präsentation der selbst erstellten Messwerkzeuge**

- Die Lehrkraft bittet eine Schüler:in das von ihr/ihm konstruierte Messwerkzeug vorzustellen.
- Die Lehrkraft fragt, ob jemand ein anderes Messgerät konstruiert hat und bittet um Präsentation dieses Messinstruments.
- Schüler:innen und Lehrkraft diskutieren die Unterschiede der konstruierten Messgeräte.
- Probleme, die bei der Konstruktion der Messinstrumente aufgetreten sind, versuchen Schüler:innen und Lehrkraft gemeinsam zu lösen.

**Diskussion**

Das Ziel der Diskussion ist, Inhalte der vorherigen Lektion zu wiederholen und neu einzuordnen: Wie die Schwingungsdauer eines Pendels experimentell bestimmt werden kann und dass für verschiedene Pendelkonstruktionen verschiedene Schwingungsdauern ermittelt werden.



## Übergeordnete Forschungsfrage

*Welche Parameter eines Pendels beeinflussen seine Schwingungsdauer?*

Leiten Sie die Diskussion so, dass die Schüler:innen selbst Parameter vorschlagen, von denen die Schwingungsdauer eines Pendels abhängen kann. Regen Sie ihre Schüler:innen dazu an, mit ihren eigenen Messinstrumenten selbst herauszufinden, ob und wie sich die Schwingungsdauer ändert, wenn ein bestimmter Parameter verändert wird. Jede Schüler:in kann eigene Ideen einbringen. Beispiele für Forschungsfragen finden Sie weiter unten im Abschnitt "Experimente und Aufgaben für Schüler:innen".

## Empfehlung für die Zusammenarbeit der Schüler:innen

Sie können die Schüler:innen in Teams aufteilen und jedes Team untersucht einen anderen Parameter/eine andere Forschungsfrage. Zum Schluss teilen alle Teams ihre Ergebnisse mit der ganzen Klasse.



## Experimente und Aufgaben für Schüler:innen

Alle Schüler:innen führen selbstständig ihre Experimente durch.

### FORSCHUNGSFRAGE 1

*Wie wirkt sich die Größe des Auslenkungswinkels auf den Wert der Schwingungsdauer aus?*



Miss die Schwingungsdauer des Pendels mit deinem Messgerät für verschiedene Werte des anfänglichen Auslenkungswinkels des Pendels. Länge und Masse des Pendels bleiben unverändert. Trage die Daten, die du erhalten hast, in eine Tabelle ein oder übertrage sie in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Erstelle ein Diagramm auf Basis der erhobenen Messwerte.

Anfänglicher Auslenkungswinkel $\alpha$ [°]	5	10	15	20	30	40	50
Schwingungsdauer $T$ [s]							

## FORSCHUNGSFRAGE 2

Wie wirkt sich eine Änderung der Pendelmasse auf den Wert der Schwingungsdauer aus?



Wiederhole die Messungen für verschiedene Pendelmassen. Die Masse des Pendels lässt sich verändern, indem man weitere Schraubenmuttern als Gewichte hinzufügt. Du kannst auch Knete-Stücke, die du zuvor gewogen hast, verwenden. Die Länge des Pendels und der anfängliche Auslenkungswinkel des Pendels bleiben unverändert. Trage die Daten, die du erhalten hast, in eine Tabelle ein oder übertrage sie in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Erstelle ein Diagramm auf Basis der erhobenen Messwerte.

Pendelmasse $m$ [g]							
Schwingungs- dauer $T$ [s]							

## FORSCHUNGSFRAGE 3

Wie wirkt sich die Änderung der Pendellänge auf den Wert der Schwingungsdauer aus?



Wiederhole die Messungen für verschiedene Längen des Pendels. Du kannst die Länge des Pendels variieren, indem du die Schnur schrittweise verkürzt. Die Masse und der anfängliche Auslenkungswinkel des Pendels bleiben unverändert. Trage die Daten, die du erhalten hast, in eine Tabelle ein oder übertrage sie in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Erstelle ein Diagramm auf Basis der erhobenen Messwerte.

Pendellänge $l$ [cm]	100	80	60	40	30	20	10
Schwingungs- dauer $T$ [s]							

## Troubleshooting

Der Aufhängepunkt bewegt sich mit der Bewegung des Pendels.

- Fixiere den Aufhängepunkt, z. B. mit Knetmasse oder Heißkleber.

Das Messgerät zeichnet keine Messungen auf.

- Versuche, das Gerät zu reparieren. Wenn dies nicht gelingt, miss mit der Stoppuhr weiter.

Die Art der Beziehung ist aus dem Diagramm nicht oder nur schwer zu erkennen.

- Erweitere die Messdaten, führe einige zusätzliche Messungen durch, für andere Parameterwerte als die, die du bereits untersucht hast.

## Zusammenfassung des Experiments

Unterstützende Fragen:

- Von welchen Parametern hängt die Schwingungsdauer eines Pendels ab?
- Um welchen Winkel hast du das Pendel ausgelenkt, bevor du es losgelassen hast?

Der Wert für die **Schwingungsdauer eines Pendels** hängt nur von der Länge des Pendels und von einer bestimmten Konstante ab, der Stärke des Gravitationsfeldes an der Erdoberfläche. Diese Konstante wird gemeinhin als Erdbeschleunigung  $g$  bezeichnet.

Die obigen Schlussfolgerungen aus den Experimenten gelten **nur für kleine anfängliche Auslenkungswinkel des Pendels**. Die Funktion, welche die Abhängigkeit der Schwingungsdauer des Pendels von seiner Länge beschreibt, ist ansteigend – mit zunehmender Länge des Pendels nimmt auch seine Schwingungsdauer in der Wurzelfunktion zu.

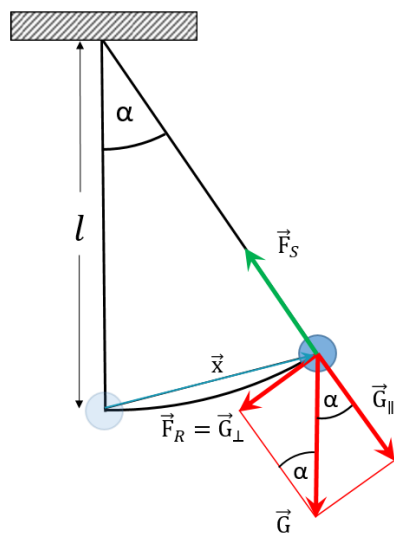
Die Schwingungsdauer eines Pendels hängt, bei kleinen Auslenkungen, nicht von seiner Masse und dem Anfangsauslenkungswinkel ab.

## Erklärung des Phänomens – die Theorie des mathematischen Pendels

**Als mathematisches Pendel bezeichnet man eine punktförmige Masse, die an einem undehnbaren und gewichtslosen Faden aufgehängt ist.** Ein gutes Beispiel für ein solches Pendel ist eine kleine Kugel, die an einem langen Faden aufgehängt ist, wobei der Faden um ein Vielfaches länger ist als der Radius der Kugel, und die Masse des Fadens im Vergleich zur Masse der Kugel vernachlässigbar klein ist.

Kugel, die an einem langen Faden aufgehängt ist, wobei der Faden um ein Vielfaches länger ist als der Radius der Kugel, und die Masse des Fadens im Vergleich zur Masse der Kugel vernachlässigbar klein ist.

In der Abbildung verwendete Bezeichnungen:



$l$  – Länge des Pendels (der Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Kugel und der Drehachse)

$m$  – Masse der Kugel

$\vec{G}$  – Gewichtskraft der Kugel ( $G = m \cdot g = \text{const}$ )

$\vec{G}_\perp$  – Komponente der Gewichtskraft senkrecht zum Faden

$\vec{G}_\parallel$  – Komponente der Gewichtskraft längs des Fadens

$\vec{F}_S$  – Spannkraft des Fadens

$\vec{F}_R$  – rücktreibende Kraft

$A$  – Schwingungsamplitude (maximale Auslenkung aus der Ruhelage)

$\vec{x}$  – Vektor der Auslenkung aus der Ruhelage

Kugel in maximaler Auslenkung:  $x_{\text{max}} = A$

Kugel beim Durchlaufen der Gleichgewichtslage:  $x_0 = 0$

Nachdem das Pendel von dem Punkt des anfänglichen Auslenkungswinkels  $\alpha$  losgelassen wurde, beginnt es eine periodische Bewegung mit einer Amplitude, die der anfänglichen Auslenkung entspricht. Bei geringem Widerstand des Mediums (Luft) und in einem kurzen Zeitintervall kann diese Amplitude als konstant angesehen werden.

Zwei Kräfte beeinflussen die Bewegung des Pendels: die Schwerkraft der Pendelmasse  $\vec{G}$  und die Spannkraft des Fadens  $\vec{F}_S$ .

Die Gewichtskraft  $\vec{G}$  kann in eine Komponente senkrecht und eine parallel zum Faden zerlegt werden:

$$\vec{G} = \vec{G}_\perp + \vec{G}_\parallel$$

Die Komponente entlang des Fadens  $\vec{G}_\parallel$  wird durch die Spannkraft des Fadens  $\vec{F}_S$  kompensiert. Die Komponente senkrecht zum Faden  $\vec{G}_\perp$  wirkt als rücktreibende Kraft  $\vec{F}_R$ .

Der Winkel  $\alpha$  zwischen der Ruhelage und dem Faden des ausgelenkten Pendels findet sich in dem kleinen Kräfte-Dreieck wieder, welches durch die Gewichtskraft  $\vec{G}$  und die senkrechte Komponente der Schwerkraft  $\vec{G}_\perp$  festgelegt ist (s. Abb.).

Es gilt also:

$$G_\perp = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad \Rightarrow \quad F_R = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

Für ein ausreichend langes Pendel und einen kleinen Auslenkungswinkel ( $\alpha < 10^\circ$ ) kann das große Dreieck, das durch das Pendel in Ruhelage, das Pendel bei maximaler Auslenkung und den Auslenkungsvektor  $\vec{x}$  definiert wird, (annähernd) als rechtwinkliges Dreieck betrachtet werden. Für ein solches Dreieck kann dann geschrieben werden:

$$\sin \alpha \approx \frac{x}{l} \quad \Rightarrow \quad F_R = -\frac{m \cdot g}{l} \cdot x \quad \Rightarrow \quad F_R \sim -x$$

**Das bedeutet: Der Wert der resultierenden rücktreibenden Kraft ist direkt proportional zum Ausschlag des Pendels aus seiner Gleichgewichtslage.**

Diese Beziehung gilt nur für kleine Winkel, die nicht größer als 10 Grad sind, denn das war die Annahme, die bei der Herleitung dieser Beziehung zugrunde gelegt wurde. Außerdem haben die Vektoren  $\vec{F}_R$  und  $\vec{x}$  (annähernd) die gleichen Ausrichtungen, aber entgegengesetzte Richtung daher das "-"-Zeichen in den Formeln.

Somit ergibt sich:

$$\vec{F}_w = -k \cdot \vec{x}$$

In der Physik wird eine solche Gleichung als harmonische Schwingungsgleichung bezeichnet.

Sie bedeutet: **Ein mathematisches Pendel führt eine harmonische Schwingung aus.** Bei einer solchen Bewegung gibt es die Beziehung:

$$k = m \cdot \omega^2 \quad \text{wobei} \quad \omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$$

m die Masse und T die Schwingungsdauer der harmonischen Schwingungsbewegung ist.

Weil:

$$\begin{aligned} F_R = -\frac{m \cdot g}{l} \cdot x &\Rightarrow k = \frac{m \cdot g}{l} \Rightarrow m \cdot \omega^2 = \frac{m \cdot g}{l} \Rightarrow \omega^2 = \frac{g}{l} \\ &\Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{g}{l}} \Rightarrow \frac{2 \cdot \pi}{T} = \sqrt{\frac{g}{l}} \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich (nach einer einfachen Umwandlung) **die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels T** zu:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Zusammengefasst:

- **Die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels ist** bei kleiner Auslenkung aus der Ruhelage **von der Masse des Pendels (der Masse der Kugel) unabhängig**;
- **Die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels ist** bei kleiner Auslenkung aus der Ruhelage **vom Wert der Auslenkung aus der Ruhelage unabhängig** (sogenannter Isochronismus eines Pendels);
- **Die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels ist** bei kleiner Auslenkung aus der Ruhelage **direkt proportional zur Quadratwurzel der Pendellänge**. Das bedeutet, dass sich die Schwingungsdauer des Pendels beispielsweise bei neunfacher Pendellänge um das Dreifache erhöht.

In den Experimenten waren die Ergebnisse ähnlich, weil die Messungen bei Winkeln unter 10 Grad durchgeführt wurden. Wenn man die Formel für die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels kennt, kann man auch den Wert der Erdbeschleunigung experimentell bestimmen. Dies kann eine spannende Hausaufgabe für die Schüler:innen sein.

## HAUSAUFGABE 2 – Erdbeschleunigung

### **Format**

Selbstständige Arbeit der Schüler:innen zu Hause oder in kleinen Gruppen in der Schule

### **Zielsetzung**

Plane ein Experiment, bei dem du mit deinem selbst gebauten Pendel und deinem Messaufbau die Schwingungsdauer bestimmst, um experimentell den Wert der Erdbeschleunigung zu bestimmen.



### **Materialien für die Schüler:innen**

- Aufgebautes Pendel
- Messaufbau mit Sensor
- Waage mit 0,1 g Genauigkeit
- Meterstab/Lineal
- Arbeitsblatt für die Schüler:innen – Einheit 3.b, Teil 2, Lektion 2 – Hausaufgabe 2

### **FORSCHUNGSFRAGE 1**

*Wie groß ist die Erdbeschleunigung?*



- Führe die notwendigen Messungen durch.
- Berechne den Wert der Erdbeschleunigung anhand der erhaltenen Daten.
- Vergleiche den erhaltenen Wert für die Erdbeschleunigung mit dem Wert, der im Physikunterricht angegeben wird.

### **Fragen, die die Schüler:innen selbstständig beantworten:**

- Wie groß ist die Erdbeschleunigung näherungsweise?
- Hat die Erdbeschleunigung an jedem Ort der Erde den gleichen Wert?
- Wie lautet die Formel für die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels?
- Welche Werte muss ich messen, um den Wert der Erdbeschleunigung mit der obigen Formel zu berechnen?

## Troubleshooting

Der resultierende Wert der Erdbeschleunigung weicht stark von dem im Physikunterricht angegebenen Wert ab.

- Wiederhole die Messungen mehrmals, verwirfe die extrem abweichenden Werte (die einem groben Fehler unterliegen) und bilde einen Durchschnittswert.
- Überprüfe das Messsystem, die Konstruktion des Pendels und den Messaufbau, um sicherzustellen, dass sie nicht die Quelle grober Fehler sind.



## 4.9 Einheit 3.c Vergleich der Ergebnisse (Lektion 3)

### Format

Im Klassenzimmer oder als Online-Meeting mit den Schüler:innen

### Ziel

Der Gruppe die eigene Datenanalyse präsentieren und die Ergebnisse mit denen der anderen Schüler:innen vergleichen. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.



### Materialien für die Lehrkraft

- Keine

### Materialien für die Schüler:innen

- Ausgefüllte Arbeitsblätter
- Ergebnisse der Aufgaben und Experimente (Tabellen, Diagramme)

### Präsentation der Ergebnisse

1. Die Lehrkraft bittet die Schüler:innen, die Ergebnisse ihrer Experimente zu präsentieren, d. h. den Wert für die Erdbeschleunigung, den die Schüler:innen aus den Messwerten ihrer Experimente ermittelt haben.
2. Schüler:innen und Lehrkraft diskutieren, warum sie mit ihren Messungen unterschiedliche Werte für die Erdbeschleunigung erhalten haben.
3. Die Lehrkraft bittet die Schüler:innen zu beschreiben, welche Messmethode und welches Messinstrument sie benutzt haben.

### Diskussion

Ziel der Diskussion ist, dass die Schüler:innen mehr über die Theorie der Messfehler lernen (s. auch Einheit 1). Bei der Verwendung verschiedener Messinstrumente, bei Messungen unter verschiedenen Bedingungen und durch verschiedene Personen können sich Ergebnisse unterscheiden. Es ist ein Bestandteil von Forschungsprozessen, dass unterschiedliche Herangehensweisen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können.

In der wissenschaftlichen Forschung ist es daher sehr wichtig, sich solcher Quellen für mögliche Unterschiede in den Ergebnissen bewusst zu sein, die eigene Methodik sehr genau zu beschreiben und die entsprechenden Faktoren bei der Interpretation der Daten zu berücksichtigen.

Wie sich ein Studienobjekt genauer vermessen lässt und wie mögliche Fehler minimiert oder vermieden werden können, lässt sich beantworten, wenn klar ist, wodurch und wie die Messungen beeinflusst wurden. Lässt sich mit den vorgenommenen Messungen also die tatsächliche Beschleunigung der Erde ermitteln? Leider nein, die Erdbeschleunigung lässt sich nicht exakt angeben, sondern nur ihr ungefähre Wert mit einer gewissen Fehlertoleranz.

### **Zusammenfassung der Lektionen 1–3 für Einheit 3 (Pendel)**

Unterstützende Fragen:

- Wie bewegt sich ein Pendel, wenn es losgelassen wird?
- Welche Größe charakterisiert eine Schwingungsbewegung?
- Von welchen Parametern hängt die Schwingungsdauer eines Pendels ab?
- Wie lautet die Formel für die Schwingungsdauer eines mathematischen Pendels?
- Wie groß ist die Erdbeschleunigung?

## 4.10 Einheit 4. Elektromagnet

### Kurzbeschreibung

Die Schüler:innen lernen mit diesem Experiment, wie Elektromagnete funktionieren. Die Schüler:innen bauen ein Gerät zur Messung der Stärke des Magnetfeldes und untersuchen, welche Parameter die Stärke des von einem Elektromagneten erzeugten Magnetfeldes bestimmen. Schließlich wenden sie die gewonnenen Erkenntnisse an, um einen Münzsortierer zu bauen.

### Themen

Elektromagnet, Strom, magnetische Feldlinien, magnetische Feldstärke, magnetische Induktion, Datenanalyse, Konstruktion von Messgeräten, magnetischer Sensor.

### Dauer

3 Unterrichtsstunden und selbständige Arbeit der Schüler:innen zu Hause

### Anmerkung

Damit die Schüler:innen über die verschiedenen Versuche hinweg nach Möglichkeit die gleiche Batterie verwenden können, ist es wichtig, dass sie den Elektromagneten nach ihren Messungen sofort wieder von der Batterie trennen. Ansonsten leert sich die Batterie während der Experimente; damit ändern sich ungewollt auch die Versuchsbedingungen. Anderenfalls müsste eigentlich bei jedem Experiment eine neue Batterie gleicher Stärke angeschlossen werden.

## 4.11 Einheit 4.a Bau eines Elektromagneten (Lektion 1)

### Format

Im Klassenzimmer oder als Online-Meeting mit den Schüler:innen.

### Zielsetzung

Bau eines Elektromagneten



### Materialien für die Lehrkraft

- Selbstgebauter Elektromagnet (ohne Anschluss an eine Batterie)
- AA oder AAA Batterie
- Isolierband
- Schere
- Stabmagnet
- Kompass

### Materialien für die Schüler:innen

- Lackierter oder isolierter Kupferdraht, ca. 1 m lang
- Schleifpapier
- Klebeband
- Ein Zylinder (dicker Marker, Plastikrohr), auf den der Draht aufgewickelt werden kann
- AA oder AAA Batterie
- Kompass
- A4-Blatt Papier
- Bleistift
- Lineal
- Schere
- Arbeitsblatt für Schüler:innen – Einheit 4.a, Lektion 1

## Demonstration durch die Lehrkraft

### VERSUCHSABLAUF

- Schließen Sie die Spule an die Batterie an, fixieren Sie die Kabelenden mit Klebeband an den Batteriepolen.
- Positionieren Sie den Elektromagneten so, dass er senkrecht zur Kompassnadel steht (Abb. 1) und einen Abstand von z. B. 20 cm hat.
- Nähern Sie den Elektromagneten langsam an den Kompass an und beobachten Sie mit ihren Schüler:innen, was passiert.
- Trennen Sie den Elektromagneten von der Batterie, damit er sich nicht erhitzt! (Die Batterie hält in diesem Versuchsaufbau nur wenige Minuten.)
- Ersetzen Sie nun den Elektromagneten mit dem Stabmagneten und bewegen Sie den Stabmagneten langsam näher an den Kompass heran. Beobachten Sie währenddessen, wie die Kompassnadel reagiert.

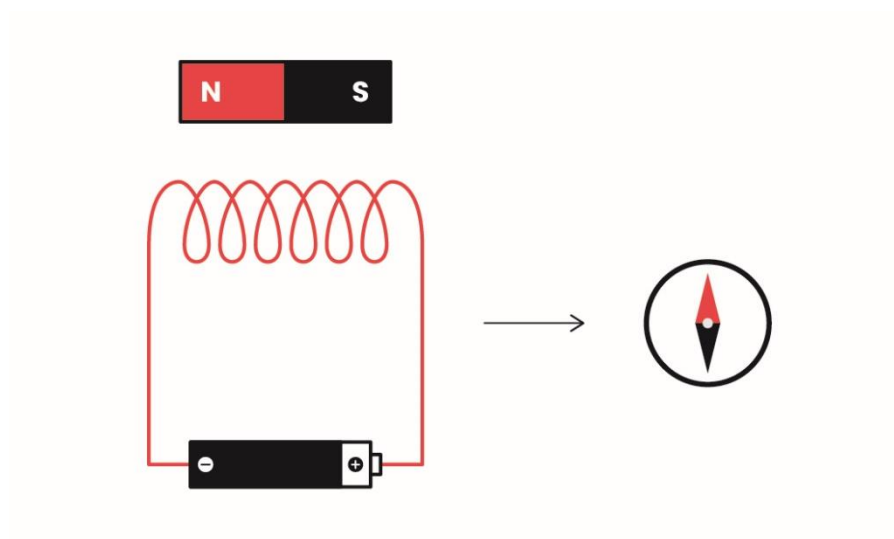


Abb. 1. Ausrichtung des Elektro- bzw. Stabmagneten in Relation zur Kompassnadel zu Beginn der Demonstration.

### Fragen an die Schüler:innen nach der Demonstration

- Hat die Kompassnadel auf den Elektromagneten und den Stabmagneten gleich reagiert?
- In welchem Fall hat die Kompassnadel schneller reagiert?
- Aus welchen Bestandteilen besteht ein Elektromagnet?
- Auf welcher Seite des Elektromagneten wird der Südpol "gebildet" und auf welcher Seite der Nordpol?

## Diskussion

Ziel der Diskussion ist, die Schüler:innen für Elektromagnetismus zu interessieren und sie dazu anzuregen, zu erforschen, was die Stärke von Elektromagneten beeinflusst.

## Übergeordnete Forschungsfrage

*Was beeinflusst die Stärke eines Elektromagneten?*

Leiten Sie die Diskussion so, dass die Schüler:innen selbst Ideen vorbringen, welche Faktoren die Stärke eines Elektromagneten beeinflussen können. Die Diskussion soll die Schüler:innen dazu inspirieren, diese Faktoren mit selbstgebauten Elektromagneten zu erforschen. Zur Moderation der Diskussion können unterstützende Fragen verwendet werden:

- Wie könnten wir die Stärke eines Elektromagneten erhöhen?
- Wie lässt sich die Stärke verschiedener selbstgebauter Elektromagnete vergleichen?

## Empfehlungen für die Zusammenarbeit der Schüler:innen

Alle Schüler:innen bauen einen eigenen Elektromagneten und untersuchen dessen Stärke. Idealerweise sollten alle Schüler:innen den gleichen Kompass haben.



## Experimente und Aufgaben für die Schüler:innen

Alle Schüler:innen bauen ihren eigenen Elektromagneten und untersuchen ihn.

## AUFGABE 1: HERSTELLUNG EINES ELEKTROMAGNETEN UND EINER SKALENTAFEL FÜR DIE MESSUNGEN



1. Entferne die Isolierung an den Enden des Drahtes (etwa 1 cm an jedem Ende). Wenn der Draht lackiert ist, entferne die Isolierung mit Schleifpapier. Wenn die Isolierung aus Gummi ist, benutze eine Schere.
2. Wickle einen Teil des Drahtes fest um einen kleinen Zylinder. Lasse an jedem Ende drei bis vier Zentimeter Draht unaufgerollt stehen. Entferne danach den Zylinder aus der Mitte.
3. Verbinde ein Ende des Drahtes mit dem Minuspol der Batterie. Verwende Isolierband. Lass das andere Ende vorerst unverbunden.

4. Zeichne eine gerade Linie durch die Mitte eines DIN-A4-Blattes parallel zur langen Kante und markiere darauf eine Zentimeterskala von 0 bis 20 cm (s. Abb. 2).

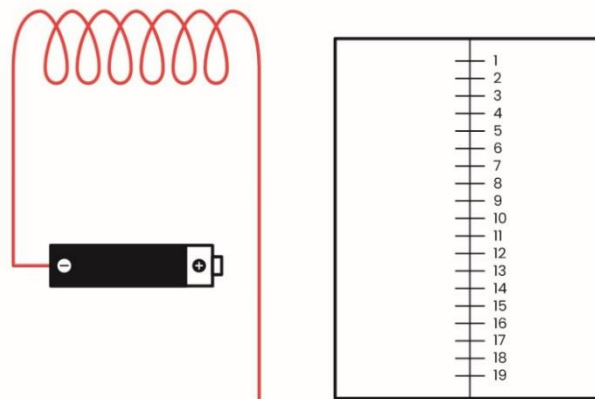


Abb.2: Beispiel für einen Elektromagneten und eine Skalentafel

### FORSCHUNGSFRAGE 1

*Wie stark ist der von uns gebaute Elektromagnet?*



1. Lege den Kompass an der Stelle 0 auf das Blatt. Richte das Blatt Papier so aus, dass die Kompassnadel senkrecht zur Skala auf dem Papier ist (s. Abb. 3).
2. Lege den Elektromagneten wie in Abbildung 3 gezeigt auf die Skala und verbinde das freie Ende des Drahtes mit Isolierband mit dem Pluspol der Batterie.
3. Bewege den Elektromagneten langsam in Richtung des Kompasses und beobachte die Kompassnadel.
4. Sobald du bemerkst, dass sich die Kompassnadel bewegt hat, halte den Elektromagneten an und notiere den Abstand auf der Skala.
5. Denke daran, die Messung so schnell wie möglich durchzuführen und danach sofort den Elektromagneten von der Batterie abzuklemmen. Dadurch wird verhindert, dass sich der Elektromagnet oder die Batterie zu sehr erhitzen.
6. Wiederhole die Messungen mehrere Male.

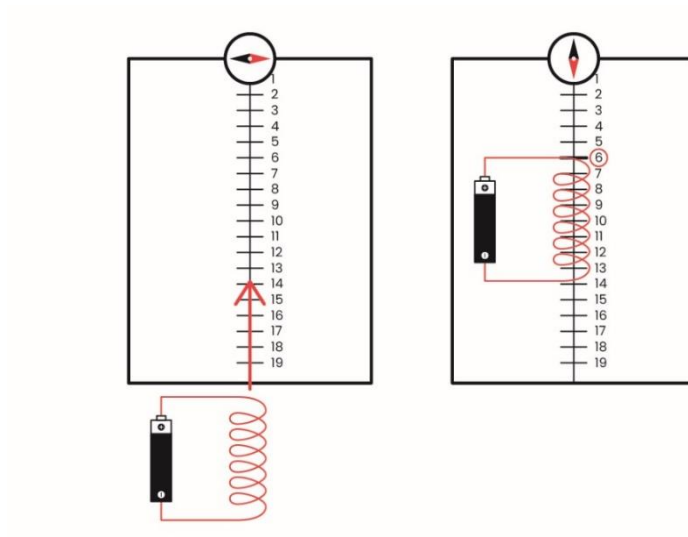


Abb. 3 Der Verlauf des Experiments

### Troubleshooting

Die Kompassnadel „funktioniert nicht“, die Magnetspule löst keine Änderung aus.

- Vergewissere dich, dass die von dir verwendete Batterie nicht entladen ist und dass die Drähte mit den abisolierten Enden mit den Polen der Batterie verbunden sind.
- Prüfe, ob die Kompassnadel fest sitzt, indem du einen Stabmagneten verwendest. Wenn die Nadel beim Stabmagneten funktioniert, bedeutet dies, dass du einen neuen Elektromagneten konstruieren musst, z. B. mit mehr Windungen.

Der Elektromagnet erhitzt sich stark.

- Schließe den Draht mit Handschuhen in kürzeren Zeitabständen an die Batterie an. Warte einen Moment vor jeder neuen Verbindung.

### Zusammenfassung des Experiments

Unterstützende Fragen:

- Ab welcher Entfernung zum Kompass hat dein Elektromagnet die Kompassnadel ausgelenkt?
- Ergaben sich die gleichen Werte bei allen SchülerInnen?
- Woher könnten eventuelle Unterschiede kommen?
- Inwiefern waren die selbst gebauten Elektromagnete unterschiedlich?



Eine stromdurchflossene Spule (in unserem Fall der Kupferdraht, der spiralförmig gewickelt ist) erzeugt ein Magnetfeld, welches dem eines Stabmagneten ähnelt (Abb. 4).

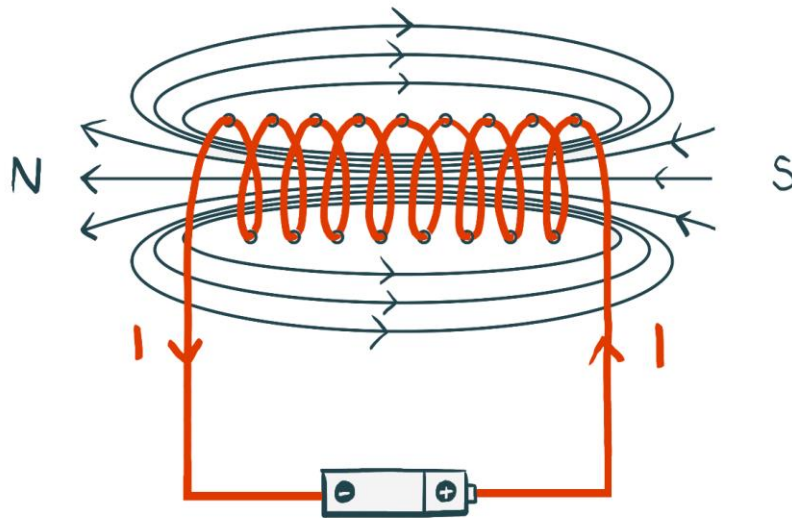


Abb. 4: Magnetfeldlinien einer stromdurchflossenen Spule (gewickelter Draht, der an eine Batterie angeschlossen ist)

Wir haben die Stärke des Magnetfelds unserer Elektromagneten mit einer Zentimeterskala und einem Kompass untersucht. Je stärker der Elektromagnet war, desto größer war der Ausschlag der Kompassnadel. Die Werte dieses Ausschlags für verschiedene Elektromagnete sind unterschiedlich. Das ist normal, weil alle Schüler:innen ihren Elektromagneten ein wenig anders gebaut haben. In der nächsten Lektion versuchen wir herauszufinden, welche Elemente der Konstruktion des Elektromagneten, welche seiner Parameter, die Stärke seines Magnetfeldes beeinflussen.

Mit unserer Messmethode können wir nur feststellen, ob ein bestimmter Elektromagnet stärker oder schwächer ist als ein anderer. Um genau überprüfen zu können, wie sich die Stärke des Magnetfelds eines Elektromagneten verändert, wenn ein bestimmtes Element des Elektromagneten verändert wird, benötigen wir ein Messgerät, das dieses Feld (z. B. seine Stärke) misst.

Eine Hausaufgabe für die Schüler:innen besteht darin, ein solches Messgerät zu bauen

## HAUSAUFGABE 1 – Messwerkzeug

### **Format**

Selbstständige Arbeit der Schüler:innen zu Hause oder in kleinen Gruppen in der Schule.

### **Zielsetzung**

Die Schüler:innen entwerfen und bauen ein Messgerät, mit dem sie die Kraft des von ihnen gebauten Elektromagneten direkt oder indirekt messen können.



### **Materialien für die Schüler:innen**

- Ein Smartphone oder ein Mikrocontroller, jeweils mit einem passenden Sensor
- Bauelemente
- Selbstgebauter Elektromagnet für die Untersuchung

Tipps für Schüler:innen zur Herstellung eines Messwerkzeugs:

### **Auswahl des Sensors**

- Der Sensor sollte die Aufzeichnung von Änderungen in der vom Elektromagneten erzeugten Magnetfeldstärke ermöglichen.
- Der Sensor sollte nicht merklich auf Veränderungen in der Umgebung reagieren.

### **Montage des Sensors**

- Der Sensor sollte stabil montiert werden, damit z. B. Vibrationen oder andere Bewegungen des Sensors die Messergebnisse nicht beeinflussen.
- Der Sensor sollte sich immer im gleichen Abstand zum Elektromagneten befinden. Wenn wir diesen Abstand während der Messungen verändern, können wir die Ergebnisse verfälschen. Deshalb ist es sinnvoll, den Elektromagneten und den Sensor so zu befestigen, dass der Abstand zwischen ihnen bei jeder Messung gleich ist.



### Test des selbst gebauten Messwerkzeugs

- Wenn du dein Messgerät gebaut und möglicherweise darüber hinaus programmiert hast, teste es mit deinem selbst gebauten Elektromagneten.
- Überprüfe, welche Daten du erhältst und ob du daraus – direkt oder indirekt – die Magnetfeldstärke oder einen anderen Parameter ablesen kannst, der dir erlaubt, die Magnetfeldstärke zu bestimmen.
- Du überprüfst, ob die erhaltenen Daten korrekt sind: Wenn du z. B. den Elektromagneten näher zu deinem Messinstrument bringst, sollten die Werte für die Magnetfeldstärke steigen.
- Falls nötig, verbesserst du die Programmierung oder den Aufbau deines Messinstruments.
- Wenn du aus den Daten die Magnetfeldstärke (oder einen anderen Parameter, der eine Bestimmung der Magnetfeldstärke ermöglichen würde) nicht ablesen kannst und die Korrekturen, die du vorgenommen hast, keine Verbesserung bewirkt haben, denke darüber nach, ein neues Messwerkzeug mit einem anderen Sensor zu entwickeln.

## Lösungsbeispiele:

### VERWENDUNG DES HALL-SENSORS (MAGNETOMETER)

 <p>The image shows a smartphone screen displaying a magnetometer application. The screen shows a large value of -7.6 and a graph of acceleration data. To the right of the phone is a small orange coil connected to a battery.</p>	 <p>The image shows a NodeMCU microcontroller board connected to a Hall sensor module. The connection is made using jumper wires. Labels indicate the NodeMCU, the Hall sensor, and the jumper wires. A legend on the right lists the pins: Hall, VCC, GND, and A0.</p>
<p>Nach dem Start von entweder der Arduino Science Journal App oder von Phyphox wähle auf deinem Handy den Magnetfeldsensor aus. Platziere das Handy in geringer Entfernung vom Elektromagneten und lies die Magnetfeldstärke (bzw. die magnetische Flussdichte) ab. Beachte: Nicht jedes Handy hat einen Magnetfeldsensor eingebaut. Bevor du diese Option wählst, stelle daher sicher, dass dein Handymodell über einen Magnetfeldsensor verfügt. Die Werte sind nicht stabil, sondern es gibt einige Schwankungen. Daher ist es sinnvoll, wenn du eine Weile wartest und mehr oder weniger den Durchschnitt der Werte abliest, die der Sensor anzeigt. Zu Beginn zeigt der Sensor nicht Null an, sondern einen von Null abweichenden Wert. Das liegt daran, dass es in der Umgebung Magnete geben kann und der Sensor auch das Magnetfeld der Erde registriert.</p>	<p>Ein nodeMCU-Mikrocontroller und ein damit verbundener Hall-Sensor fungieren als Messinstrument. Platziere den Sensor – ähnlich wie beim Handy – in eine geringe Entfernung vom Elektromagneten. Der Mikrocontroller kann so programmiert werden, dass er die eingelesenen Daten vom Sensor über WLAN an den Computer sendet. Aus den Daten auf dem Computer lässt sich die magnetische Feldstärke ablesen bzw. berechnen.</p>

## 4.12 Einheit 4.b Bau des Sensors (Lektion 2)

### Format

Im Klassenzimmer oder als Online-Meeting mit den Schüler:innen

### Zielsetzung

Zu untersuchen, von welchen Parametern die Stärke des Magnetfeldes eines Elektromagneten abhängt.



### Materialien für die Schüler:innen

- Lackierte oder isolierte Kupferdrähte von ca. 2 m Länge mit verschiedenen Querschnitten
- Schleifpapier
- Klebeband
- Zylinder mit verschiedenen Durchmessern (z. B. dicker Marker, Plastikrohr, Bleistift), auf die man einen Draht zu einer Spule aufwickeln kann
- AA oder AAA Batterien
- Lineal
- Schere
- Messgerät
- Multimeter (optional)
- Arbeitsblatt für Schüler:innen – Einheit 4.b, Lektion 2

### Zusammenfassung der Hausaufgabe

Präsentation der selbst erstellten Messinstrumente.

1. Die Lehrkraft bittet eine Schüler:in das Messinstrument vorzustellen, das sie erstellt hat.
2. Die Lehrkraft fragt, ob jemand ein anderes Messgerät gebaut hat, und falls ja, bittet sie darum, dieses ebenfalls vorzustellen.
3. Schüler:innen und Lehrkraft diskutieren die Unterschiede in der Konstruktion und Bauweise der Messinstrumente.
4. Probleme, die bei der Konstruktion der Messinstrumente aufgetreten sind, versuchen Schüler:innen und Lehrkraft gemeinsam zu lösen.

## Diskussion

Das Ziel der Diskussion ist, Inhalte der vorherigen Lektion zu wiederholen und neu einzuordnen: Wie die Stärke des Magnetfeldes eines Elektromagneten gemessen werden kann und dass sich für verschiedene Elektromagnetkonstruktionen unterschiedliche Stärken ihrer Magnetfelder beobachten lassen.

## Übergeordnete Forschungsfrage

*Welche Parameter eines Elektromagneten beeinflussen die Stärke seines Magnetfeldes?*

Leiten Sie die Diskussion so, dass die Schüler:innen selbst Parameter vorschlagen, von denen die Stärke des Magnetfelds eines Elektromagneten abhängen könnte. Regen Sie ihre Schüler:innen dazu an, mit ihren Messinstrumenten selbst zu untersuchen, wie und ob sich die Stärke des Magnetfelds ändert, wenn ein bestimmter Parameter verändert wird. Unten im Abschnitt "Experimente und Aufgaben für Schüler:innen" finden Sie Beispiele für Forschungsfragen, aber jede Schüler:in kann auch eigene Fragen einbringen.

## Empfehlungen für die Zusammenarbeit der Schüler:innen

Sie können die Schüler:innen in Teams aufteilen und jedes Team untersucht einen anderen Parameter/eine andere Forschungsfrage. Zum Schluss teilen alle Teams ihre Ergebnisse mit der ganzen Klasse.



## Experimente und Aufgaben für die Schüler:innen

Alle Schüler:innen führen selbstständig Experimente durch.

## FORSCHUNGSFRAGE 1

Wie wirkt sich die Anzahl der Windungen einer Spule auf die Stärke des Magnetfelds eines Elektromagneten aus?



Miss mit deinem Messgerät die Stärke des Magnetfeldes für Spulen mit unterschiedlicher Windungszahl. Achte dabei darauf, dass sich die Umgebungsbedingungen sowie andere Parameter während der Messungen nicht ändern. Trage die Daten, die du erhalten hast, in eine Tabelle ein oder übertrage sie in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Erstelle ein Diagramm auf Basis der erhobenen Messwerte.

- Du verwendest für alle Messungen den gleichen Zylinder zum Aufwickeln des Drahts, die gleiche Batterie, den gleichen Draht und versuchst auch, die Länge der Spule gleich zu halten.
- Es funktioniert am besten, mit der größten Anzahl von Windungen zu beginnen und den Anfang und das Ende der Spule auf dem Zylinder zu markieren. Wenn du die Anzahl der Windungen verringerst, achte darauf, dass sich Anfang und Ende immer an den auf dem Zylinder markierten Stellen befinden.
- Denke daran, die Messung so schnell wie möglich durchzuführen und danach sofort den Elektromagneten von der Batterie abzuklemmen. Dadurch wird verhindert, dass sich der Elektromagnet oder die Batterie zu sehr erhitzen.

Anzahl der Windungen							
Magnetische Flussdichte B [ $\mu\text{T}$ ] oder Magnetische Feldstärke H [ $\text{A/m}$ ]							

## FORSCHUNGSFRAGE 2

*Welchen Einfluss hat die Dicke des Drahtes der Spule auf die Stärke des Magnetfeldes eines Elektromagneten?*



Miss mit deinem Messgerät die Stärke des Magnetfeldes für Spulen aus Kupferdrähten verschiedener Dicke. Stelle sicher, dass sich die Umgebungsbedingungen sowie andere Parameter während der nachfolgenden Messungen nicht ändern. Trage die Daten, die du erhalten hast, in eine Tabelle ein oder übertrage sie in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Erstelle ein Diagramm auf Basis der erhobenen Messwerte (wenn du nur 2–3 Drähte mit unterschiedlicher Dicke hast, erstelle kein Diagramm, sondern vergleiche nur die Ergebnisse).

- Du verwendest für alle Messungen den gleichen Zylinder, die gleiche Batterie, die gleiche Anzahl von Windungen und auch die Länge der Spule bleibt gleich.
- Am besten markierst du den Anfang und das Ende der Spule auf dem Zylinder und wickelst dann den Draht mit dem dicksten Durchmesser darauf. Entferne dann den Zylinder wieder und mache dasselbe mit den anderen Drahtstärken, die du zur Verfügung hast.
- Denke daran, die Messung so schnell wie möglich durchzuführen und danach sofort den Elektromagneten von der Batterie abzuklemmen. Dadurch wird verhindert, dass sich der Elektromagnet oder die Batterie zu sehr erhitzen.

Dicke des Drahtes [mm]						
Magnetische Flussdichte B [ $\mu\text{T}$ ] oder Magnetische Feldstärke H [A/m]						



### FORSCHUNGSFRAGE 3

Wie wirkt sich der Durchmesser einer Spule auf die Stärke des Magnetfeldes eines Elektromagneten aus?



Miss mit deinem Messgerät die Stärke des Magnetfelds für unterschiedliche Durchmesser der Zylinder im Inneren der Spule (d. h. der Rollen, auf die du den Kupferdraht gewickelt hast). Stelle sicher, dass sich die Umgebungsbedingungen sowie andere Parameter bei aufeinanderfolgenden Messungen nicht ändern. Trage die Daten, die du erhalten hast, in eine Tabelle ein oder übertrage sie in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Erstelle ein Diagramm auf Basis der erhobenen Messwerte (wenn du nur 2-3 Rollen unterschiedlicher Dicke hast, erstelle kein Diagramm, sondern vergleiche nur die Ergebnisse).

- Du verwendest für alle Messungen den gleichen Draht, die gleiche Batterie, eine gleichbleibende Anzahl von Windungen des Drahtes und auch die Länge der Spule bleibt gleich.
- Markiere auf den unterschiedlichen Zylindern die gleiche Länge (den Anfang und das Ende der Spule) und wickle dann einen Draht auf die dickste Rolle, wobei du dir die Anzahl der Windungen des Drahtes merkst. Führe die Messung durch und zerlege danach den Elektromagneten, um die Untersuchungen mit anderen Zylindern mit kleinerem Durchmesser fortzuführen. Baue für deine Messungen einen Elektromagneten nach dem anderen neu auf, wobei du immer schmalere Zylinder verwendest, d. h. Spulen mit immer kleinerem Durchmesser. Achte dabei darauf, dass die Anzahl der Windungen des Drahtes und die Länge der Spule gleich bleiben.
- Denke daran, die Messung so schnell wie möglich durchzuführen und danach sofort den Elektromagneten von der Batterie abzuklemmen. Dadurch wird verhindert, dass sich der Elektromagnet oder die Batterie zu sehr erhitzen.

Durchmesser der Spule (bzw. des Zylinders) [mm]						
Magnetische Flussdichte B [ $\mu\text{T}$ ] oder Magnetische Feldstärke H [A/m]						

#### FORSCHUNGSFRAGE 4

Wie wirkt sich die Länge der Spule (der Abstand von der ersten bis zur letzten Windung) auf die Stärke des Magnetfelds eines Elektromagneten aus?



Miss mit deinem Messgerät die Magnetfeldstärke für verschiedene Spulenlängen. Achte darauf, dass sich die Umgebungsbedingungen sowie andere Parameter während der Messungen nicht ändern. Trage die Daten, die du erhalten hast, in eine Tabelle ein oder übertrage sie in ein Tabellenkalkulationsprogramm. Erstelle ein Diagramm auf Basis der erhobenen Messwerte.

- Du verwendest für alle Messungen den gleichen Draht, den gleichen Zylinder, die gleiche Batterie und eine gleichbleibende Anzahl von Windungen des Drahtes.
- Am besten markierst du auf dem Zylinder den Anfang der Spule (die Stelle der ersten Windung). Markiere zusätzlich in verschiedenen Abständen einige Stellen, an denen du – für die spätere Messung verschiedener Spulenlängen – das Ende der Spule setzen willst (d. h. die Stelle der letzten Windung). Starte deine Messungen mit dem größten Abstand, den du markiert hast, d. h. der größten Spulenlänge. Merke dir die Anzahl der Windungen des Drahtes, die du für diese Spulenlänge verwendest. Führe deine Messung durch. Löse danach den Draht von dem jetzigen Spulenende und stelle dann eine Spule einer anderen Länge her. Nutze dabei die von dir zuvor markierten Stellen für verschiedene Spulenenden und halte die Anzahl der Windungen für alle Spulenlängen gleich. Führe nacheinander Messungen für die verschiedenen Spulenlängen durch.
- Denke daran, die Messung so schnell wie möglich durchzuführen und danach sofort den Elektromagneten von der Batterie abzuklemmen. Dadurch wird verhindert, dass sich der Elektromagnet oder die Batterie zu sehr erhitzt.

Spulenlänge [cm]						
Magnetische Flussdichte B [ $\mu\text{T}$ ] oder Magnetische Feldstärke H [A/m]						

## Troubleshooting

Der Elektromagnet löst beim Messgerät keine Veränderung aus.

- Prüfe, dass die von dir verwendete Batterie nicht entladen ist und dass die Drähte guten Kontakt zu den Polen der Batterie haben.
- Prüfe, ob das Messgerät richtig funktioniert, z. B. mit einem einfachen Magneten.

Der Elektromagnet erhitzt sich stark.

- Trage Handschuhe, schließe die Drähte eine kürzere Zeit an die Batterie an und warte immer einen Moment, bevor du sie wieder anschließt.

Bei den Experimenten (oder Teilen der Experimente) ist kein Unterschied in der Stärke des Elektromagneten festzustellen.

- Sorge für größere Unterschiede bei den Parametern, die du untersuchst (z. B. vergleichst du statt 10 und 12 Windungen der Spule besser 10 und 20 oder sogar 10 und 30 Windungen).
- Falls du verschiedene Batterien verwendest, überprüfe, ob sie unterschiedliche Spannungen liefern. Ändert sich etwas an der Stärke des Elektromagneten, wenn du eine andere Batterie verwendest? Grundsätzlich sollte die Batterie kein variabler Faktor in den Experimenten sein.
- Wenn du ein Strommessgerät hast, verwende es während der Messungen, um sicherzustellen, dass der Strom, der durch den Elektromagneten fließt, konstant ist oder sich nur geringfügig ändert. Eine Ausnahme bildet das Experiment Nr. 2, bei dem die Stromstärke je nach Drahtstärke variiert.

## Zusammenfassung der Experimente und Erklärung der untersuchten Phänomene

Unterstützende Fragen:

- Von welchen Parametern hängt die Stärke des von einer Spule erzeugten Magnetfeldes ab?
- Haben wir alle möglichen Parameter/Faktoren untersucht, die die magnetische Feldstärke eines Elektromagneten beeinflussen?

## HAUSAUFGABE 2 – Münzsortierer

### **Format**

Selbstständige Arbeit der Schüler:innen zu Hause oder in kleinen Gruppen in der Schule.

### **Zielsetzung**

Entwurf und Bau eines Geräts, das 1- und 2-Cent-Münzen von anderen auf dem Boden verstreuten Münzen unterscheidet.



### **Materialien für die Schüler:innen**

- Bauteile für den Bau eines Elektromagneten
- Messgerät zur Messung der Magnetfeldstärke
- Bauelemente (z. B. Sperrholz, Hartpappe, LEGO-Steine)
- Waage mit 0,1 g Genauigkeit (optional)
- Münzen mit unterschiedlichem Nennwert

### Aufgabe 1: Bau des Sortiergeräts



1. Wiege die Münzen verschiedener Nennwerte.
2. Baue einen Elektromagneten und verändere ihn so, dass nur ausgewählte Münzen von deinem Elektromagneten angezogen werden.

### **Fragen, die die Schüler:innen selbstständig beantworten:**

- Welche Kräfte wirken auf die Münzen, die vom Elektromagneten angezogen werden?
- Welche Parameter eines Elektromagneten können wir verändern, um seine Kraft auf angezogene Münzen zu verändern?
- Welche Werte muss ich messen, um die Parameter des Elektromagneten so zu wählen, dass er nur 1- und 2-Cent-Münzen anzieht?

## 4.13 Einheit 4.c Präsentation der Sortiergeräte (Lektion 3)

### Format

Im Klassenzimmer oder als Online-Meeting mit den Schüler:innen

### Zielsetzung

Der Gruppe die Arbeitsweise des selbst gebauten Münzsortierers präsentieren und den Aufbau und die Funktionsweise des eigenen Gerätes mit denen der anderen Schüler:innen vergleichen.  
Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.



### Materialien für die Schüler:innen

- Ausgefüllte Arbeitsblätter
- Aufgebaute Sortiergeräte
- Münzen verschiedener Nennwerte

### Zusammenfassung der Hausaufgabe

Präsentation der selbst erstellten Münzsortierer.

1. Die Lehrkraft bittet eine Schüler:in, den selbst gebauten Münzsortierer vorzustellen.
2. Die Lehrkraft fragt, ob jemand ein anderes Sortiergerät gebaut hat, und falls ja, bittet sie darum, dieses ebenfalls vorzustellen.
3. Schüler:innen und Lehrkraft diskutieren die Unterschiede in der Konstruktion und Funktionsweise der Münzsortierer.
4. Die Lehrkraft bittet die Schüler:innen ihre Methode für das Sortieren zu beschreiben, d. h. das Werkzeug oder den Mechanismus, den sie für ihr Sortiergerät genutzt haben.

### Diskussion

Die Diskussion wird mit dem Ziel geführt, die Schüler:innen dazu anzuregen, die Schwierigkeiten, auf die sie beim Bau des Geräts gestoßen sind, mitzuteilen und zu erklären, wie sie damit umgegangen sind. Wenn etwas anders gelaufen ist als erwartet, besprechen Lehrkraft und Schüler:innen gemeinsam, was passiert ist und warum, und wie das Problem zu beheben ist.

## **Zusammenfassung der Lektionen 1-3 für Einheit 4 (Elektromagnet)**

Unterstützende Fragen:

- Wie ist ein Elektromagnet aufgebaut?
- Funktioniert ein Elektromagnet genauso wie ein normaler Magnet?
- Von welchen Parametern hängt die "Stärke" eines Elektromagneten ab?
- Wie lautet die Formel für die von einem Elektromagneten erzeugte Magnetfeldstärke?

## 5 Anhang – Wie man Sensoren mit der Arduino Science Journal App verwendet



Arduino Wissenschaftsjournal

Ein Video, das in polnischer Sprache zeigt, wie man die App bedient und wie sie für verschiedene Messungen verwendet werden kann:

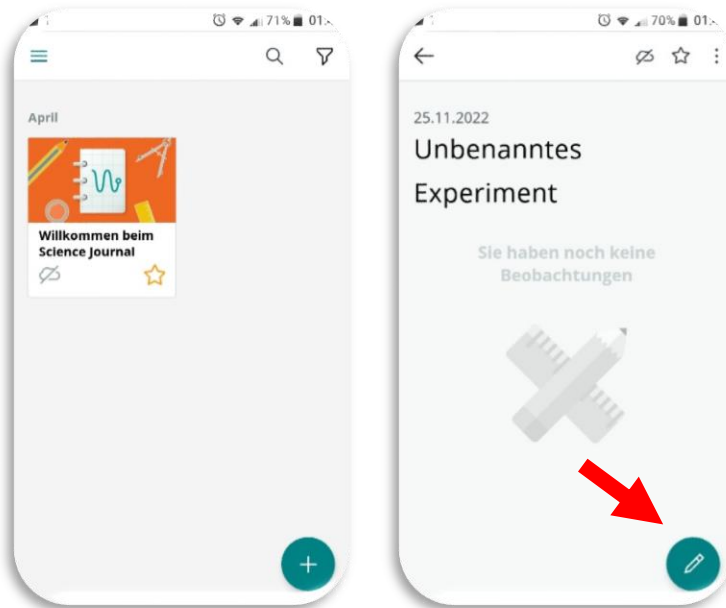


<https://youtu.be/p2w2y6noE34>

Anleitung für die App in englischer Sprache, allerdings nicht speziell auf dieses Modul bezogen:

<https://www.youtube.com/watch?v=uJ-rsGWkWto>

## STARTEN DER ANWENDUNG



Nach dem Start der Anwendung siehst du ein Fenster mit den durchgeführten Experimenten/Projekten. Beim ersten Start siehst du nur den Block "Willkommen beim Science Journal", in dem du Informationen über die Anwendung finden kannst.

Um ein neues Experiment zu starten, klicke auf die Schaltfläche mit dem "+"-Zeichen in der unteren rechten Ecke. Es erscheint ein Experimentierfenster, in dem deine Beobachtungen gespeichert werden. Nun kannst du den Titel des Experiments ändern, indem du auf das Stiftsymbol in der unteren rechten Ecke klickst.

## EXPERIMENTIERFENSTER



Es erscheint das Experimentierfenster zur Aktualisierung des Experiments. Du kannst nun seinen Titel ändern und ein Foto/Motiv des Experiments einfügen.

Nachdem du die Änderungen vorgenommen hast, klicke auf den Haken in der unteren rechten Ecke, um die Änderungen zu bestätigen.

Am unteren Rand des Experimentierfensters befinden sich



Symbole, mit denen du Beobachtungen in dein Experiment eingeben kannst:

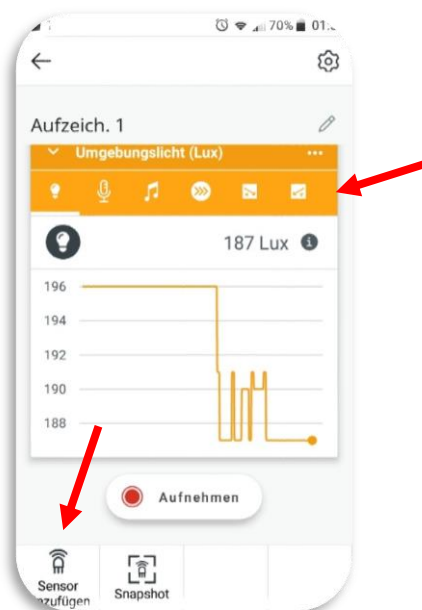
*Text* – in Form einer Textnotiz

*Sensoren* – in Form von Messungen der im Handy eingebauten Sensoren

*Kamera* – in Form eines Fotos, das du aufnimmst

*Galerie* – in Form eines Fotos/einer Illustration, das/die du aus der Fotogalerie deines Telefons auswählst.

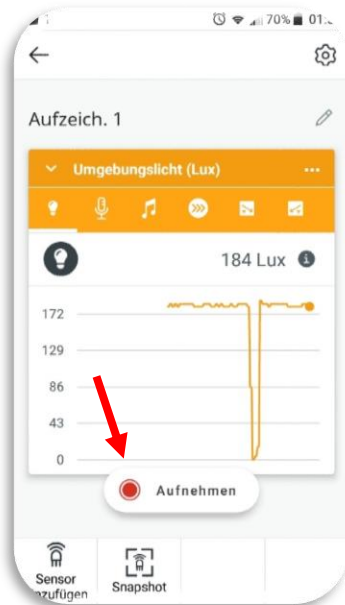
## MESSUNGEN MIT SENSOREN



Wenn du im Experimentierfenster auf das Sensorsymbol klickst, erscheint das Fenster zur Messdatenerfassung.

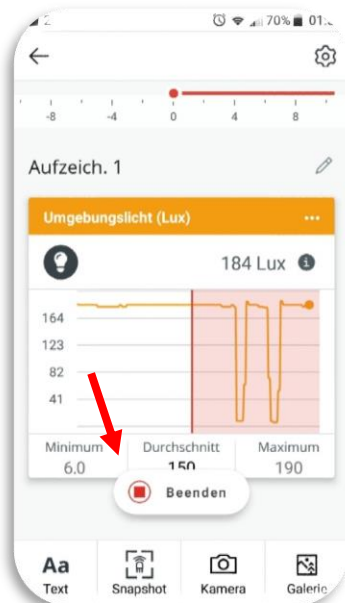
Im oberen Menü hast du die Wahl zwischen verschiedenen Sensoren.

Du kannst die Daten von mehreren Sensoren auf einmal beobachten/aufzeichnen. Dazu fügst du sie über die Schaltfläche "Sensor hinzufügen" in der unteren linken Ecke hinzu.



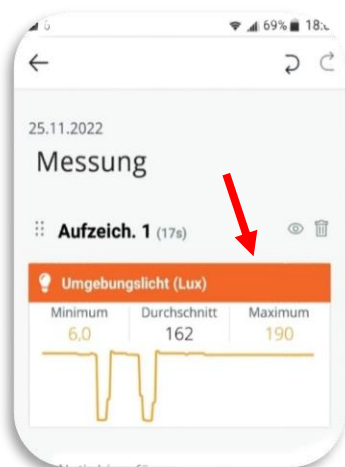
Nach der Auswahl des Sensors erscheinen die Messdaten auf dem Bildschirm als Grafik in Echtzeit.

Um die Messdaten zu speichern, müssen wir die Aufzeichnung mit dem roten Punkt am unteren Rand des Diagramms starten.



Um die Datenaufzeichnung zu beenden und die Messungen zu speichern, klicke auf das rote Quadrat am unteren Rand des Diagramms.

Die Messdaten wurden gespeichert und sind nun im Experimentierfenster verfügbar.



Um eine gespeicherte Messung zu sehen, suche sie im Experimentierfenster und klicke auf ihren Rahmen.

Du kannst deine Messung benennen, indem du auf das Stiftsymbol in der oberen rechten Ecke klickst.

Gib den Titel der aufgezeichneten Daten in das neue Fenster ein.

Um die Daten im \*.csv-Dateiformat zu speichern, klicke auf die drei Punkte in der oberen rechten Ecke und wähle Download aus der Liste (beim Herunterladen wähle die Option Relative Zeit).

Du kannst die Messdaten auch in einem Diagramm in der Anwendung anzeigen. Zu diesem Zweck kannst du den Schieberegler auf der Zeitachse verschieben und einzelne Messpunkte auf dem Diagramm ablesen.

Du kannst auch Notizen zu den Messungen in Form von Text oder Fotos hinzufügen, indem du die Symbole am unteren Rand verwendest.

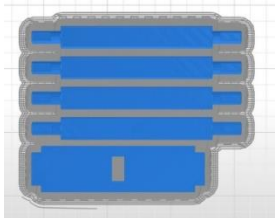
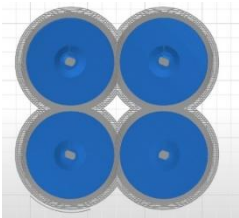
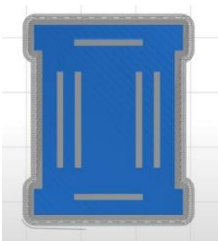
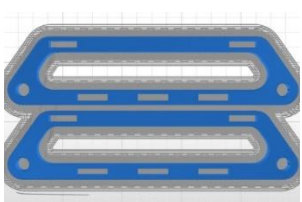
# 3D-DRUCK DES FAHRZEUGS

## Dateien für den 3D-Druck:

3 x axle\_car.stl  
 1 x car\_axle.stl  
 1 x sub-set\_phone.stl  
 2 x side frame.stl  
 4 x wheel.stl  
 1 x hitch\_rubber.stl

## Druckparameter:

Material: beliebig  
 Raft: nicht benötigt  
 Stützstruktur: nicht benötigt  
 Infill/Fill: 20 - 40 %  
 Layer thickness/layer thickness: 0.19 - 0.29

			
<b>REPORT</b> ⓘ Estimated print time: <b>3h 3m</b> Material usage: <b>14.54m (35g)</b>  Printer: <b>Zortrax M200</b> Profile: <b>Last settings</b> Support type: <b>Automatic</b> Support: <b>20°</b> Material: <b>Z-ULTRAT</b> Nozzle diameter: <b>0.4 mm</b> Layer: <b>0.19 mm</b> Quality: <b>Normal</b> Infill: <b>40%</b>	<b>REPORT</b> ⓘ Estimated print time: <b>3h 57m</b> Material usage: <b>22.48m (53g)</b>  Printer: <b>Zortrax M200</b> Profile: <b>Last settings</b> Support type: <b>Automatic</b> Support: <b>20°</b> Material: <b>Z-ULTRAT</b> Nozzle diameter: <b>0.4 mm</b> Layer: <b>0.29 mm</b> Quality: <b>Normal</b> Infill: <b>20%</b>	<b>REPORT</b> ⓘ Estimated print time: <b>3h 35m</b> Material usage: <b>20.91m (50g)</b>  Printer: <b>Zortrax M200</b> Profile: <b>Last settings</b> Support type: <b>Automatic</b> Support: <b>20°</b> Material: <b>Z-ULTRAT</b> Nozzle diameter: <b>0.4 mm</b> Layer: <b>0.29 mm</b> Quality: <b>Normal</b> Infill: <b>30%</b>	<b>REPORT</b> ⓘ Estimated print time: <b>3h 27m</b> Material usage: <b>18.43m (44g)</b>  Printer: <b>Zortrax M200</b> Profile: <b>Last settings</b> Support type: <b>Automatic</b> Support: <b>20°</b> Material: <b>Z-ULTRAT</b> Nozzle diameter: <b>0.4 mm</b> Layer: <b>0.29 mm</b> Quality: <b>Normal</b> Infill: <b>30%</b>



Technische Universität München

Alle Materialien sind erhältlich unter

<https://erasmus-plus.ec.europa.eu/projects/search/details/2020-1-DE02-KA226-VET-008295>

Das Projekt Hands-on Remote wurde im Rahmen des Programms Erasmus+ KA226 Partnerships for Digital Education Readiness finanziert (2020-1-DE02-KA226-VET-008295).

Kofinanziert durch das  
Programm Erasmus+  
der Europäischen Union

