



Physik aus dem Stegreif

– Mit wenig Aufwand zum „Aha-Effekt“ –

CHRISTIAN, KAMMERLANDER
CHRISTIAN.KAMMERLANDER@STUD.PLUS.AC.AT

Zusammenfassung

Experimentieren stellt einen Kernpunkt guten Physikunterrichts dar – aktives, begreifendes Lernen durch eigenes Erleben. Um physikalische Zusammenhänge experimentell greifbar zu machen, sind jedoch oft viel Zeit, die richtige Ausrüstung und Vorbereitungs-möglichkeiten vonnöten. Lehrkräfte stehen zusätzlich vor der Herausforderung, auch spontane Fragen oder Erklärungen anschaulich zu gestalten. Ebenso suchen Schülerinnen und Schüler gelegentlich nach einfacheren Möglichkeiten, das Gelernte zu Hause selbst nachzuvollziehen und auszuprobieren. Dieses Paper umfasst deshalb eine kleine Auswahl an leicht umsetzbaren Experimenten, die mit alltäglichen Materialien und ohne allzu lange Vorbereitung auskommen – zum Rätseln, als „Werkzeug“, „Beweismethode“, oder schneller Weg zu teils sehr überraschenden Sachverhalten.

1 Die Rolle des Experimentierens

Das Experiment ist im Physikunterricht deshalb so relevant, da es einen bedeutenden Bestandteil naturwissenschaftlicher Methoden zur Erschließung neuer Erkenntnisse über die Natur darstellt (vgl. Duit et al., 2010). Während also mit dem Experiment eine konkrete Absicht verfolgt wird, lehrt die Geschichte, dass die Kombination aus vorhandener Problemstellung, Vermutung oder einfacher Neugier dabei oftmals auch zu unerwarteten, jedoch aufschlussreichen Ergebnissen oder spontanen Geistesblitzen führen kann. So beobachtete beispielsweise der dänische Physiker Hans Christian Ørsted, der weitläufig als Entdecker der Zusammenhänge zwischen Elektrizität und Magnetismus gilt, dass eine Kompassnadel in der Nähe eines stromdurchflossenen Drahts abgelenkt wird. Ebenso besagen historische Überlieferungen, dass Archimedes das nach ihm benannte Prinzip des Auftriebs und Bestimmung der Dichte von Objekten durch deren Wasserverdrängung entdeckte, als er sich selbst ein Bad nahm. Besagte Situationen weisen einige Aspekte auf, die auch den Zweck vom Experimentieren im Physikunterricht verdeutlichen. In der Fachliteratur finden sich dazu verschiedene Zielsetzungen, darunter beispielsweise (vgl. Kircher et al., 2015):

- Verschiedene Phänomene darstellen
- Interesse wecken, motivieren
- Erste Erfahrungen machen
- Alltagsbezug herstellen
- Zum Nachdenken anregen
- Mit eigenen Vorstellungen abgleichen
- Gesetzmäßigkeiten erleben
- Arbeitsweise erläutern
- Das physikalische Konzept ergründen

- Die zugehörige Theorie prüfen
- Überprüfung von Gesetzen
- Bildung physikalischer Vorstellungen fördern
- Nachhaltige Eindrücke vermitteln
- Meilensteine unserer Geschichte aufzeigen

Phänomene im Fokus

Dabei soll zunächst auf eine überstürzte Einführung physikalischer Gesetze und Modelle verzichtet werden, denn die **Ästhetik** des Experiments liegt vor allem im **sinnlichen Erleben**. In der heutigen Zeit kann es sich diesbezüglich als herausfordernd erweisen, Phänomene überhaupt noch faszinierend oder gar überzeugend darzustellen. Ursache hierfür sind unter anderem die sozialen Medien und hochmoderne Messinstrumente, durch die der unmittelbare **Umgang mit den Dingen** als unspektakulär wahrgenommen wird oder sogar verloren geht. Dabei reichen alltägliche Materialien, wie beispielsweise Münzen, Stifte, Murmeln, Geldscheine, kleinere Gegenstände, die sich bewegen oder als Gewichte verwendet werden, Papier, Lineal, Batterien, ein einfacher Wasserbehälter oder sogar ein Besen, und etliche weitere, die geschickt eingesetzt im besten Fall die Freude an der Sache wecken und einen munteren, sozialen Austausch unter den Schülerinnen und Schülern anregen, der auch nicht immer zwangsläufig von physikalischer Natur sein muss (vgl. Kircher et al., 2020).

„Realitätserfahrung soll mit Kopf, Herz und Hand gewonnen und zugänglich gemacht werden!“ (Kircher et al., 2020, S. 59)

Wechselwirkung von Theorie und Experiment

Im Fall von Ørsted und Archimedes wird rasch ersichtlich, dass durch ihr Handeln zunächst Erfahrungswissen im jeweiligen Sachverhalt gesammelt wird, welches in weiterer Folge dann zur Erkenntnis führt. An diesem Punkt könnte man durchaus zur Ansicht kommen, dass Erkenntnis lediglich experimenteller Erfahrung entspringt und daher auf diese Art und Weise vorgegangen werden müsse. Jene Sichtweise wird als reiner **Empirismus** bezeichnet (vgl. Kuhn & Schwarz, 2016). Dieser prägte die Wissenschaft des 19. Jahrhunderts, da zu dieser Zeit größerer Wert auf induktive Methoden in der Forschung gelegt wurde. Diese können als eine Abfolge aus Beobachtung, anschließendem Experiment mit Auswertung und allgemeiner, schlussfolgernder Formulierung von Gesetzmäßigkeiten aufgefasst werden (vgl. Kácvoský, 2024). Während es sich anbietet, diesen Ansatz im Unterricht zu nutzen, sollte man jedoch recht bald, erneut aus historischer Sicht, um einen weiteren ergänzen. Im darauffolgenden 20. Jahrhundert passierte nämlich ein überwiegender Wandel vom Empirismus zum **Rationalismus**, bei dem umgekehrt vermehrt der deduktive, also ableitende Ansatz verfolgt wurde, wobei aus vorab formulierten Theorien Erkenntnis abgeleitet wird. Das Experiment dient dabei als finale Instanz zur Überprüfung und Verifikation oder Falsifikation der jeweils formulierten Hypothesen unter bestimmten Kriterien. Ein vermehrter Konsens, der die heutige Auffassung dazu widerspiegelt, besteht darin, dass **Theorie und Experiment** zwei sich ergänzende und untrennbar miteinander **verwobene Komponenten** naturwissenschaftlichen Arbeitens darstellen (vgl. Kácvoský, 2024). Untermauernd führen Kuhn & Schwarz (2016) dazu ein ausgezeichnetes Beispiel von Galileo Galelei an, der in so manchen Interpretationen als einer der Vorreiter des Experimentierens und Vertreter des Empirismus wahrgenommen wird. Galilei hält fest, dass ein von ihm durchgeführtes Experiment genau nach seinen vorab formulierten Vermutungen und Vorstellungen (also Hypothesen) verläuft. Diese stellen den Ausgangspunkt und Grund dar, aus dem das Experiment überhaupt und in dieser Form durchgeführt wird und dabei eine gänzlich neue Funktion einnimmt: Nicht zum Sammeln neuer, experimenteller Erfahrungen, sondern als Instrument zur Überprüfung seiner Theorien (vgl. Kuhn & Schwarz, 2016). Beide Ansätze lassen sich im Physikunterricht vereinen und finden günstige Anwendungsmöglichkeiten.

So schlägt beispielsweise Strahl (2018) beim Bearbeiten des Stoffgebiets Schwingungen und Wellen ein Schüler*innen-Experiment zum Fadenpendel und der Schwingungsdauer vor. Dabei lässt man die Schülerinnen und Schüler das physikalische Konzept entweder eigenständig ergründen oder gibt ihnen konkrete Fragestellungen und Messungen vor (vgl. Strahl, 2018). Auf diese Weise können die Lernenden nach eigenem Ermessen entweder durch wiederholtes, willkürliches Ausprobieren den **induktiven** und entdeckenden Weg wählen, oder **deduktiv** vorab Vermutungen anstellen und ihre Hypothesen durch gezielte Experimente prüfen. Wird ihnen dabei zusätzlich die Wechselwirkung von Experiment und Theorie bewusst, könnte dies womöglich vorbeugen, dass sie jene eigenen Ergebnisse sofort verwerfen, die zunächst an manchen Stellen von der Theorie abweichen, und sie stattdessen im besagten Kontext tiefer hinterfragen – eine Vorgehensweise, die auch vor allem beim Experimentieren per Hand und mit einfachen Materialien empfehlenswert ist, da **Messfehler** unvermeidbar sind (vgl. Strahl, 2018). Fehlerhafte Experimente sind nicht unbedingt unbrauchbar – insbesondere dann nicht, wenn **systematische Zusammenhänge**, die dahinterstecken, **erkennbar** bleiben.

2 Motivation und Machbarkeit

Man stelle sich folgende Situation vor: Man befindet sich in munterer Gesellschaft, zu Besuch bei Freunden, im Wirtshaus, oder auch auf einer Reise. Plötzlich kommt ihr auf ein spannendes, physikalisches Thema zu sprechen. Es werden Ideen ausgetauscht, Phänomene erklärt und wild diskutiert. Man hat großartige Gedanken oder Erklärungen im Kopf, kann sie aber gar nicht richtig zeigen oder belegen, da kein Versuch aufgebaut werden kann, weil das nötige Material fehlt. Genau an diesem Punkt soll angeknüpft und Fokus auf folgende Fragestellung gelegt werden: „Wie kann ich improvisieren und mit den wenigen, mir zur Verfügung stehenden Materialien einen überzeugenden Versuch gestalten, der die physikalischen Gesetzmäßigkeiten hinreichend widerspiegelt?“ Je nach Sachverhalt variieren diesbezüglich meine Möglichkeiten, deren Auffinden und Umsetzung ein gewisses Maß an **Kreativität** und auch **Geschick** erfordern. Allerdings eignen sich nicht alle Teilbereiche der Physik gleichermaßen gut, um für eine **spontane Vorführung** das Experiment auf wenige, einfache Gegenstände zu beschränken.

Auswahl der Experimentierfelder

Um Aufschluss darüber zu erhalten, welche Themenbereiche sich dafür überhaupt anbieten, betrachten wir, wie eine mögliche **Einteilung der Physik** aussehen könnte. Strahl (2018) listet dabei die folgenden Gebiete:

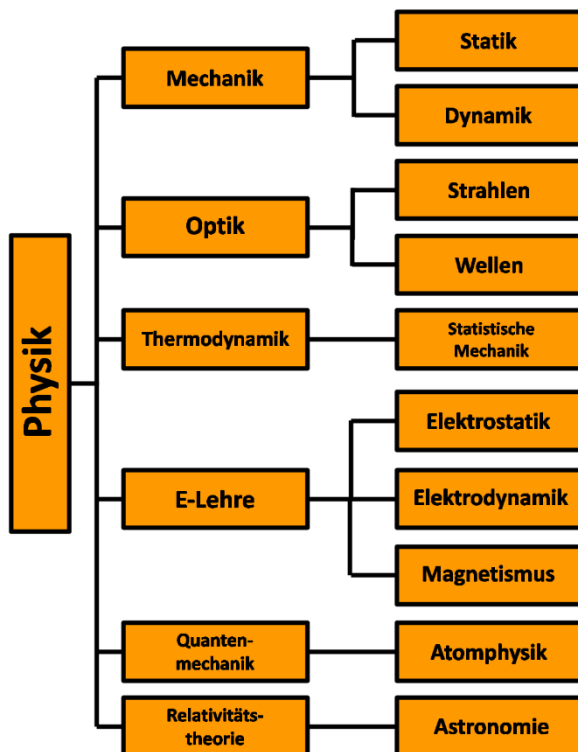


Abb.1 – „Mögliche Einteilung der Physik“ (Strahl, 2018, S. 88)

Mit der Zielsetzung, Anwendungsmöglichkeiten für alltägliche Materialien in Form von einfachen Experimenten zu finden, verschafft Abbildung 1 einen ersten, hilfreichen Überblick. Die Gebiete der Quantenmechanik sowie Relativitätstheorie stehen an den beiden Enden des Spektrums physikalischer Größenordnungen – man bewegt sich auf der subatomaren Ebene bzw. in astronomischen Maßstäben wie Lichtjahren oder der Lichtgeschwindigkeit. Diese Kapitel eignen sich kaum für spontanes Experimentieren. Ähnliches trifft auf die Elektrizitäts-Lehre zu. Während zwar grundlegende Phänomene, wie z.B.: die Ladungstrennung oder der Magnetismus einfach demonstrierbar sind, so benötigt die Mehrheit der Versuche bestimmte Bauteile oder Messgeräte und verläuft unter Beachtung diverser Sicherheitsaspekte im Umgang mit Elektrizität. Die Mechanik hingegen, die sich mit dem Bewegungsverhalten von Körpern und den Kräften, die auf sie wirken, beschäftigt, bietet naheliegenderweise viel größeren Spielraum. Denn Objekte in Bewegung zu versetzen und Kräfte verschiedener Art auf sie auszuüben fällt uns nicht nur leicht, dieser Prozess ist sogar

fester Bestandteil unseres Alltags und tausendfach beobachtbar. Ebenso lassen die Gebiete der Thermodynamik und Optik bereits im Voraus vielerlei einfache Darstellungsmöglichkeiten von Phänomenen vermuten, die uns vielleicht ohnehin jeden Tag begegnen.

3 Ausgewählte Experimente

In diesem Sinne folgt nun das Entwerfen oder die Auswahl an bekannten Experimenten, welche die besagten Kriterien erfüllen. Die Intention liegt nicht darin, sie lediglich als Abkürzung zu verstehen oder gar als Ersatz für sorgfältig geplante Experimente mit entsprechendem Instrument. Vielmehr liegt der Wert in ihrem ergänzenden Charakter: So wie wir über einen Wortschatz verfügen, den wir stets erweitern, steigern sie, wenn man so möchte, die eigene, physikalische Schlagfertigkeit – indem man angeführte Sachverhalte schnell und überzeugend belegen, sie als Werkzeug einsetzen, oder mit dem ein oder anderen Fakt verblüffen kann.

Die Erdbeschleunigung als Werkzeug

So kann beispielsweise die Erdbeschleunigung zur Höhenmessung herangezogen werden. Befindet man sich auf einer Erhöhung, wie beispielsweise dem Balkon eines Gebäudes, reichen folgende Gegenstände, um die Höhe des Balkons näherungsweise zu ermitteln:

- Stoppuhr
- Kleiner, dichter Gegenstand

Man lässt den Gegenstand aus der Höhe fallen und misst die Zeit, die er benötigt, bis er am Boden aufkommt. Zu beachten sind dabei das simultane Fallenlassen und Starten der Zeitmessung, das exakte Stoppen der Zeit beim Aufprall sowie die Beschaffenheit des verwendeten Fallobjekts, das idealerweise wenig Luftwiderstand aufweist und gleichzeitig relativ schwer ist. Dazu eignen sich unter anderem Murmeln und Geldstücke. Der zurückgelegte Weg im freien Fall unter Vernachlässigung des Luftwiderstandes ist gegeben durch:

$$s = \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Dabei sind:

- s... zurückgelegter Weg in Metern [m]
- a... Erdbeschleunigung $\approx 9,81 \text{ [m/s}^2]$
- t... Fallzeit in Sekunden [s]

Durch Einsetzen der erhobenen Daten lässt sich der zurückgelegte Weg, also die Höhe des Balkons ermitteln. Ein Abgleichen der eigenen Ergebnisse mit einer anschließenden Abmessung, beispielsweise mittels Maßband, kann sich als äußerst aufschlussreich herausstellen.

Kennt oder misst man andererseits den zurückgelegten Fallweg, ergibt sich in diesem Zusammenhang eine weitere Einsatzmöglichkeit: Das Messen der eigenen Reaktionszeit. Benötigt werden dafür lediglich:

- Eine weitere Person
- Kleiner, dichter Gegenstand (länglich)
- Messinstrument (Lineal, Geo-Dreieck etc.)

Der Gegenstand besitzt idealerweise ähnliche Eigenschaften wie zuvor. Geeignet sind Stifte wie Fineliner. Die Aufgabe der zweiten Person ist es, den Gegenstand bzw. Stift vertikal und auf Höhe des eigenen Zeigefingers und Daumens zwischen diesen beiden Fingern zu halten und zu einem beliebigen Zeitpunkt fallenzulassen, während man selbst dabei versucht, so schnell wie möglich zu reagieren und den Stift mit Zeigefinger und Daumen aufzufangen. Man misst nun den Abstand vom unteren Ende des Stifts bis zur oberen Stelle, an der die Finger den Stift aufgefangen haben. Stellt man nun die vorherige Formel des Fallwegs auf die Fallzeit um, erhält man:

$$t = \sqrt{\frac{2s}{a}}$$

Durch erneutes Einsetzen der erhobenen Daten kann dadurch die Fallzeit, die in diesem Kontext mit der eigenen Reaktionszeit gleichzusetzen ist, näherungsweise ermittelt werden.

Grübeln mit Archimedes

Verblüffend und kontraintuitiv kann sich die ein oder andere Überlegung zum Archimedischen Prinzip gestalten. Der Abbildung 2 kann dazu ein Versuchsaufbau mit den folgenden Materialien entnommen werden:

- Faden (dünn, unelastisch, reißfest)
- Gegenstand, der im Wasser nicht schwimmt
- Trinkglas, gefüllt mit Wasser
- Küchenwaage

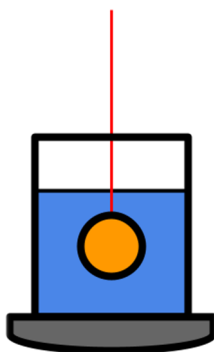


Abb.2 – Wasserverdrängung

Untersucht wird die Fragestellung, wie sich der Messstand der Waage verändert, wenn man den an dem Faden befestigten Gegenstand vollständig ins Wasser taucht, jedoch nicht ganz zu Boden sinken lässt. Dazu wiegt man zuerst jeweils den Gegenstand selbst ab, anschließend das mit Wasser gefüllte Trinkglas. Nun bietet es sich an, erste Vermutungen anzustellen. Schließlich erfolgt das Eintauchen des Gegenstandes unter Beobachtung des Messstandes. Der Gegenstand sollte zusätzlich eine Form aufweisen, deren Volumen einfach zu ermitteln ist, denn: Da der Gegenstand nicht schwimmt und auch nicht bis auf den Boden des Glases sinkt, wird sich der Messstand der Waage nicht zusätzlich um das gesamte Gewicht des Gegenstandes erhöhen, sondern lediglich um das Gewicht des Volumens der durch den Gegenstand verdrängten Wassermenge. Das Archimedische Prinzip besagt, dass sich im Wasser befindende Körper eine Auftriebskraft erfahren, die der Gewichtskraft des Volumens der verdrängten Wassermenge entspricht. Das dritte Newtonsche Axiom besagt des Weiteren: Actio gleich Reactio – Kräfte treten stets paarweise auf. Der Körper, der durch die Flüssigkeit eine Auftriebskraft erfährt, übt also zusätzlich selbst eine gleich große Kraft auf die Flüssigkeit in entgegengesetzter Richtung aus, die sich im veränderten Messstand der Waage widerspiegelt. Rechnerisch lässt sich der Sachverhalt überprüfen, indem das Volumen des eingetauchten Körpers und die Masse des Wassers bei genau diesem Volumen ermittelt wird. Diese wird mit der Veränderung des Messstandes der Waage näherungsweise übereinstimmen. Dafür kann eine Dichte von Wasser bei 4° Celsius mit etwa 1g/cm^3 angenommen werden.

Ist man vorab mit dem Archimedischen Prinzip vertraut, lässt sich das Ergebnis womöglich bereits im Voraus korrekt ableiten. Doch auch für belesene Personen erweisen sich manche Phänomene als keinesfalls trivial und bedürfen noch gezielterer Überlegungen, trotz gegenteiligen Anscheins, wie beispielsweise im nächsten Sachverhalt. Mit dem Archimedischen Prinzip im Hinterkopf stellen wir uns eine weitere Frage. Was passiert mit dem Wasserstand eines Sees, wenn wir uns in einem Boot auf diesem See befinden, eine Bowlingkugel mit an Bord haben und diese Bowlingkugel nun ins Wasser werfen? Wir kommen zum Schluss, dass dies drei mögliche Auswirkungen auf den Wasserstand haben könnte:

- Der Wasserstand steigt
- Der Wasserstand verändert sich nicht
- Der Wasserstand sinkt

Erfahrungen aus dem Alltag können hierbei irreführend sein, denkt man etwa daran, Eiswürfel oder ein Stück Zitrone in sein Getränk zu geben, sich in die Badewanne zu setzen oder auch Hände und Geschirr in ein Waschbecken zu tauchen, wobei man stets ein Ansteigen des Wasserstandes beobachtet. Das trifft auf das Beispiel mit dem See nicht zu. Ebenso wenig bleibt der Wasserstand gleich. Tatsächlich wird der Wasserstand sinken, doch warum verhält er sich so? Ein wichtiger Aspekt dabei ist, dass wir uns bei dieser Überlegung bereits am Boot auf dem See befinden. Das Boot, samt Passagiere und unserer Fracht, der Bowlingkugel, üben bereits eine Gewichtskraft auf das Wasser aus. Wir sinken nicht auf den Grund des Sees, da das Boot so konstruiert ist, um genügend Wassermassen zu verdrängen, wodurch wir eine Auftriebskraft erfahren, die der Gesamtgewichtskraft des Boots inklusive aller Gegenstände und Personen an Bord entspricht. Werfen wir nun die Bowlingkugel über Bord, so wird diese sehr wohl auf den Grund des Sees sinken. Denn durch ihr Volumen allein wird nicht genügend Wasser verdrängt, sodass die daraus resultierende Auftriebskraft, die auf die Bowlingkugel wirkt, geringer ausfällt als ihre eigene Gewichtskraft. Während die Bowlingkugel im Wasser also lediglich ihr eigenes Volumen an Wasser verdrängt, führt das Lagern an Bord hingegen dazu, dass das Boot genau die Wassermenge verdrängt, deren Gewichtskraft exakt jener der Bowlingkugel entspricht. Das bedeutet, das Lagern der Kugel im Boot verursacht mehr Wasserverdrängung als die Kugel selbst nach dem Hineinwerfen in den See. Durch die geringere Wasserverdrängung sinkt schließlich dessen Wasserpegel. Analog dazu gestaltet sich der Versuchsaufbau, um diesen Effekt experimentell nachzuvollziehen. Er kommt mit den folgenden Materialien aus:

- Messbecher, gefüllt mit Wasser
- Schwimmvorrichtung (z.B.: Papierboot)
- Gegenstand als Ballast (sehr klein, schwer)

Hierbei ist auf einige Dinge zu achten. Der Messbecher sollte nicht sehr breit sein, also eine geringe Wasseroberfläche aufweisen und nicht randvoll gefüllt werden. Für eine stabile Schwimmvorrichtung, die als Boot dienen soll, eignen sich größere Streichholzschachteln, kleinere Plastikbehälter, oder auch dick gefaltete und größere Papierboote und dergleichen. Das Boot darf nicht kentern und soll auch nach Aufladen von zusätzlichem Gewicht nicht sinken. Für den Ballast können Münzen verwendet werden, jedoch reicht eine einzige dafür möglicherweise nicht aus, um den Effekt gut beobachten zu

können. Es bietet sich beispielsweise an, mehrere Münzen zu stapeln und sie gegebenenfalls mit einem Klebeband zu einer zylindrischen Form zu verbinden. Es gibt vielerlei Wege und Materialien, um den Versuch zu gestalten, hier ist Kreativität gefragt. Sind die genannten Kriterien erfüllt, lässt sich der Versuch wie in Abbildung 3 schematisch dargestellt, durchführen.



Abb.3 – Boot mit Ballast

Zunächst wird das Boot ins Wasser gesetzt, der Ballast vorsichtig hinzugefügt und anschließend der Wasserstand am Messbecher vermerkt. Danach wird der Ballast entnommen und ins Wasser gegeben, sodass er zu Boden sinkt. Eine erneute Betrachtung des Wasserstands am Messbecher lässt dann ein Sinken des Wasserpegels erkennen.

Es dreht sich ums Drehmoment

Einen recht raschen, ersten Eindruck des Drehmoments erfährt man unter Verwendung eines einfachen, länglichen Objekts wie einem Stift, Stab oder Stock, wenn man diesen balanciert. Idealerweise lässt sich der verwendete Gegenstand schlecht biegen, ist überall gleich dick bzw. dicht und weist keine Unebenheiten auf. Nun geht man wie folgt vor:

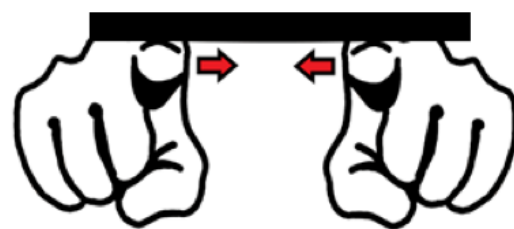


Abb.4 – Auffinden des Schwerpunkts

Wie in der Abbildung 4 dargestellt wird, legt man den Gegenstand zunächst auf den beiden Zeigefingern auf und versucht anschließend, diese mit gleicher Kraft zusammenzuführen. Dabei wird man feststellen, dass sich die beiden Zeigefinger überwiegend abwechselnd bewegen. Außerdem treffen sie schlussendlich genau im Schwerpunkt des Gegenstands aufeinander. Erfüllt der Gegenstand die besagten Eigenschaften, liegt dieser

auch genau in dessen Mitte. Je mehr sich ein Finger dem Schwerpunkt des Gegenstands annähert, umso mehr Gewicht lastet auf diesem Finger, was zu einer erhöhten Haftreibung führt, die diesen Finger ausbremst, während der andere Finger weitergleitet, auf dem weniger Gewicht lastet. Ermittelt man mit dieser Methode den Schwerpunkt, kann der Gegenstand genau dort mit nur einem Finger balanciert werden, da die Summe der Drehmomente um den Schwerpunkt null ergibt. Was zunächst banal klingt, gestaltet sich dann besonders interessant, wenn der Schwerpunkt nicht exakt in der Mitte des Gegenstands liegt. Dazu überlegen wir uns folgende Fragestellung: In folgender Abbildung balanciert ein Besen in seinem Schwerpunkt. Der Besen lässt sich auch genau dort auseinander-schrauben und in zwei Teile zerlegen. Was wird man beim Abwiegen der beiden Teile feststellen?

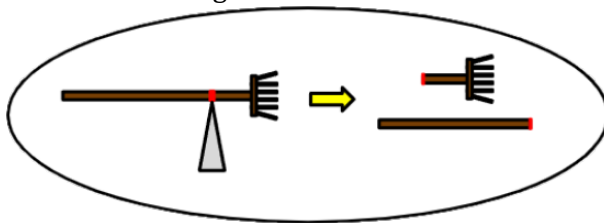


Abb.5 – Aufteilung im Schwerpunkt

Dazu gibt es erneut drei verschiedene Möglichkeiten, die beobachtet werden könnten:

- Der Teil mit Bürste wiegt schwerer
- Der Teil mit Stiel wiegt schwerer
- Beide Teile wiegen exakt gleich schwer

Da der Besen balanciert, könnte man durchaus vermuten, dass beide Teile dasselbe Gewicht aufweisen müssen. Doch auch hier wird man leicht von der eigenen Intuition fehlgeleitet. Denn nicht nur die Masse spielt hierbei eine Rolle. Den entscheidenden Aufschluss liefert das Drehmoment. Damit sich der Besen in Balance befinden kann, müssen die auf beiden Seiten angreifenden Drehmomente sich ausgleichen. Das Drehmoment M hängt nicht lediglich von der Masse ab, sondern ist definiert als das Produkt aus angreifender Kraft F und Hebelarm r , dem Abstand des Drehpunktes von der Wirkungslinie der Kraft:

$$M = r \cdot F$$

Bei der wirkenden Kraft F handelt es sich jeweils um die Gewichtskraft der beiden Teile des Besens. Diese ist eigentlich auf die gesamte Masse eines Körpers verteilt und wirkt auch in jedem Massepunkt des Körpers. Vor allem für die Berechnung von Drehmomenten ist es jedoch zulässig, dessen gesamte Gewichtskraft gedanklich an einem einzigen Punkt des Masseobjekts angreifen zu lassen, nämlich in dessen Schwerpunkt, denn: Vektoriell lassen sich alle einzelnen,

wirkenden Gewichtskräfte zu einer einzigen, resultierenden und im Schwerpunkt angreifenden Kraft zusammenfassen. Das bedeutet also, die Gewichtskraft der einzelnen Teile des Besens greift in deren eigenen Schwerpunkt an und der Hebelarm r beschreibt den Abstand vom Drehpunkt bis dorthin. Den Drehpunkt selbst stellt der Schwerpunkt des gesamten Besens (siehe Abb.5, rot) dar. Während der Teil mit der Bürste einen deutlich geringeren Hebelarm r aufweist, jedoch dasselbe Drehmoment wie der Teil mit dem Stiel erzeugt, muss daher die Masse des Teils mit der Bürste entsprechend höher sein als die des Stiels.

An dieser Stelle bietet es sich an, erneut zu betonen, dass man für einen Versuchsaufbau, der den besagten Sachverhalt widerspiegelt, nicht nur wenige Materialien benötigt, sondern es auch unzählige Alternativen zu den hier vorgeschlagenen Objekten gibt. In Abbildung 6 ziehen wir jedoch folgende Materialien heran:

- Bleistift
- Radiergummi
- Küchenwaage

Zunächst speißen wir den Radiergummi mit dem Spitzen Ende des Bleistifts auf. Wir ermitteln nun wieder mit unserer Methode (siehe Abb.4) den Schwerpunkt des Ganzen. Nun bringen wir ein kleines Opfer zum Wohle der Wissenschaft und brechen den Bleistift an dieser Stelle ab.

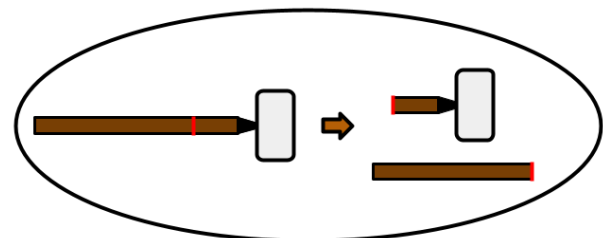


Abb.6 – Bleistift und Radiergummi

Wie im Beispiel mit dem Besen, lässt uns das mit den beiden Teilen zurück, die sich gegenseitig ausbalancieren. Nun wiegen wir diese einzeln mit der Küchenwaage ab und vergleichen. Wir werden folgendes feststellen: der Teil mit dem Radiergummi wiegt deutlich schwerer.

Wenn Teilchen tanzen – heiße Beweggründe

Wärme, Temperatur und Hitze – drei verschiedene Begriffe, die in unserem Alltag oft synonym verwendet werden. Und trotzdem blickt man hin und wieder in verdutzte Gesichter, stellt man die Frage, was Temperatur eigentlich ist. Um das anschaulich zu erklären, greift man einfach zu einem Wasserkocher, zwei Teetassen und zwei frischen Teebeuteln. Man lässt genügend Wasser aufkochen und gibt es in eine der beiden Tassen, während die andere Tasse mit kaltem Wasser

befüllt wird. Nun gibt man anschließend jeweils einen Teebeutel in die beiden Tassen und beobachtet. Dabei stellt man schnell fest, dass sich die Kräuter des Teebeutels viel schneller in der Tasse mit dem heißen Wasser verteilen, der Tee schneller Farbe annimmt und rascher zieht. Die Temperatur eines Körpers hängt nämlich mit der Bewegungsenergie seiner Teilchen zusammen. Je heftiger sich diese Teilchen bewegen, desto höher ist auch die Temperatur des Körpers. Daher zieht Tee im heißen Wasser besser, weil die heftige Bewegung der Wassermoleküle zu einer gründlicheren Durchmischung der Tee-kräuter mit dem Wasser führt.

Die Entropie ist eine weitere, spannende Größe und laut zweitem Hauptsatz der Thermodynamik ein Maß für die Unordnung eines Systems. Die Entropie nimmt in einem abgeschlossenen System niemals ab und Prozesse laufen von selbst nur in die Richtung höherer Entropie. Wenn zum Beispiel ein Eiswürfel in warmes Wasser gelegt wird, herrscht niedrige Entropie. Es gibt einen klaren Unterschied von kalt und warm. Schmilzt er schlussendlich, vermischen sich kalte und warme Teilchen. Das Wasser wird überall gleichmäßig warm. Die Entropie steigt. Wärme fließt stets vom Warmen zum Kalten, niemals umgekehrt, und stets in Richtung höherer Entropie. Nimmt man beispielsweise einen Plastik- oder Papierbecher und hält ihn über die Flamme eines Feuerzeugs, wird er rasch schmelzen bzw. verbrennen. Interessanter gestaltet es sich, wenn man ihn vorher mit kaltem Wasser befüllt.



Abb.7 – Feuerzeug und Plastikbecher

Der Plastikbecher fängt kein Feuer und beginnt auch nicht, zu schmelzen. Die Wärme der Flamme fließt über in das kalte Wasser, die Entropie steigt. Wasser besitzt zusätzlich eine äußerst hohe Wärmekapazität. Diese gibt an, wie viel Energie nötig ist, um einen Kilogramm [kg] eines Stoffs um ein Grad Kelvin [K] zu erwärmen. Bei Wasser liegt die Wärmekapazität C bei etwa 4200 J/kgK . Aus diesem Grund schmilzt der

Plastikbecher nicht, noch erhöht sich die Temperatur des Wassers sehr schnell, obwohl die Flamme eines Feuerzeugs Temperaturen von 1000°C erreichen können. Das Wasser schützt durch das ständige Aufnehmen von Wärme den Becherboden vor dem Schmelzen, da der Kunststoff unter 100°C bleibt. Es sei dennoch Vorsicht im Umgang mit Feuer und sich erhitzenden Gegenständen geboten! Der Becher wird womöglich erst schmelzen, wenn das gesamte Wasser im Becher verdampft ist, oder das Wasser nicht mehr genügend Wärme abführen kann – ein einfacher Versuch, der an dieser Stelle den Beitrag an Experimenten abschließt.

4 Zusammenfassung

Das Ziel dieses Beitrags ist nicht, nur ein paar ausgewählte Beispiele aufzuzeigen. Die Idee besteht vielmehr darin, zu zeigen, dass sich physikalische Phänomene oft mit einfachsten Mitteln darstellen lassen, vorausgesetzt, man ist auch bereit, genau hinzusehen, kreativ zu denken und sich auf das Wesentliche zu konzentrieren. Auch ohne aufwändige Geräte und langer Vorbereitungszeit, lassen sich so Konzepte wie etwa das Drehmoment, der Schwerpunkt, der Wärmefluss oder das Archimedische Prinzip erfahrbar machen. Diese Ergebnisse sollen zum selbstständigen Denken und praktischen Ausprobieren anregen, sei es im Unterricht, im Alltag oder in spontanen Gesprächen, und weiterführend einen Anstoß geben, selbst nach Wegen zu suchen, wie sich mit einfachen Materialien überzeugende physikalische Zusammenhänge veranschaulichen lassen. Wer bereit ist, zu experimentieren und zu improvisieren, wird feststellen: Physik ist näher, als man denkt und einfacher zugänglich, als es zunächst scheint.

5 Literatur

- Duit, R., Tesch, M., & Mikelskis-Seifert, S. (2010). Das Experiment im Physikunterricht. *Piko-Briefe. Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst Bd, 7*.
- Kácovský, P. (2024). Experiments in Physics Education: Designing Activities & Research.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Fischer, H. E. (2020). *Physikdidaktik / Grundlagen* (4th Aufl 2020 edition). Springer Berlin Heidelberg.
- <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59490-2>
- Kircher, E., Häußler, P., & Girwidz, R. (2015). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (3. Aufl. 2015). Springer Berlin Heidelberg.
- <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41745-0>
- Kuhn, W., & Schwarz, O. (2016). *Ideengeschichte der Physik: Eine Analyse der Entwicklung der Physik Im Historischen Kontext* (2. Auflage). Springer Berlin / Heidelberg.
- <https://doi.org/10.1007/978-3-662-47059-6>
- Strahl, A. (2018). *Fachdidaktik der Naturwissenschaften unter besonderer Berücksichtigung der Physik* (2. Auflage). Books on Demand.