



Wirbelströme - Freifallturm

Stand: 2018-06-21

Schulart	Realschule
Jahrgangsstufe	10
Fach	Physik
Übergreifende Bildungs- und Erziehungsziele	Technische Bildung
Zeitrahmen	eine Unterrichtsstunde
Benötigtes Material	<ul style="list-style-type: none">• zwei starke, kugelförmige Dauermagnete• mindestens zwei gleich lange Rohre mit gleichem Durchmesser aus verschiedenen Materialien<ul style="list-style-type: none">○ Metalle z. B. Kupfer, Aluminium○ Nichtmetalle z. B. Glas, Kunststoff

Kompetenzen und Kompetenzerwartungen

Die Schülerinnen und Schüler wenden die Regel von Lenz bei der Beschreibung und Begründung von einfachen Induktionsversuchen und der Entstehung und Anwendung von Wirbelströmen, z. B. in Bremssystemen, an. (Kompetenzerwartung 10 (I), 10 (II))



Aufgabe

Freifallturm: Ein Fall in die Tiefe aus Höhen von über 100 Metern

Bei einigen Freifalltürmen wird die Gondel für die Fahrgäste mittels eines Seilzugsystems an die Spitze des Turms gezogen. Da die Gondel zum Start vom Seil gelöst wird, stürzt diese ohne jegliche mechanische Absicherung in die Tiefe. Vor dem Boden wird der Fall der Gondel sanft, aber mit maximaler Sicherheit mithilfe von Magnetbremsen verzögert, so dass diese sicher am Boden ankommt.

Experiment:

Führt in euren Gruppen die folgenden Teilerperimente mehrmals durch, um die Funktionsweise einer Magnetbremse zu erarbeiten. Haltet eure Beobachtungen sowie eure Vermutungen zur anschließenden Aufgabe schriftlich fest.

Versuchsbeschreibung:

Befestigt das Kunststoffrohr senkrecht an der Halterung und legt eine weiche Unterlage unter die Öffnung des Rohrs.

Teilerperiment 1: Haltet die beiden Kugelmagnete so über die Unterlage, dass ein Magnet durch das Rohr hindurch, der andere aber neben diesem vorbei fällt. Achtet dabei darauf, dass die Magnete auf gleicher Höhe gehalten werden.

Teilerperiment 2: Befestigt im zweiten Teil des Experiments parallel zum Kunststoffrohr das Kupferrohr an der Halterung. Lasst die Magnete gleichzeitig durch die beiden Rohre fallen.

Notiert eure Beobachtungen.

Aufgabe zum Experiment:

In weiteren Teilerperimenten werden die Magnete anschließend durch ein Glas- und ein Aluminiumrohr fallen gelassen. Dabei können die verschiedenen Rohre beliebig nebeneinander befestigt werden. Notiert eure Beobachtungen.

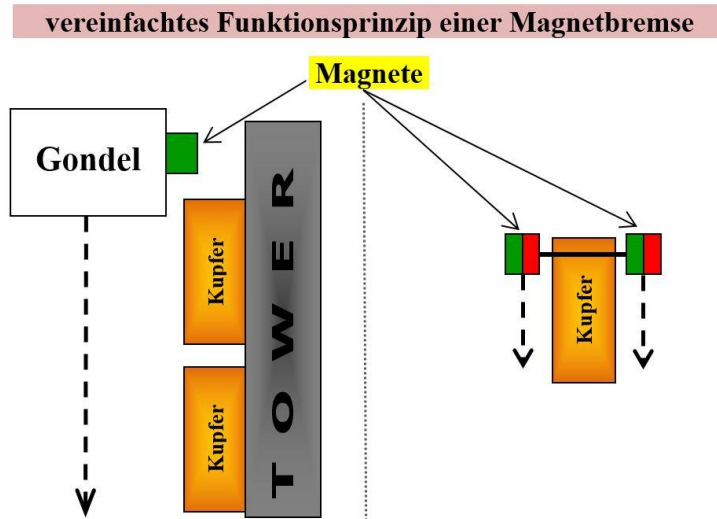
Diskutiert in der Gruppe eure Vermutungen in Bezug auf die Fallzeiten der Magneten durch die verschiedenen Rohre. Formuliert eure gemeinsame Vermutung.

Aufgaben:

1. Lest euch den Text auf der Rückseite dieses Arbeitsblattes zur Erläuterung der Funktionsweise einer Art von Magnetbremsen eines Freifallturms durch und unterstreicht mit unterschiedlichen Farben die wichtigen Aussagen zur Funktionsweise bzw. zu den Vorteilen von Magnetbremsen (z. B. gegenüber mechanischen Bremssystemen).
2. Erklärt mit dem Induktionsgesetz (in gewohnter Weise mithilfe eurer Hefteinträge zur Induktion in Spulen bzw. zur Regel von Lenz) die Entstehung von Wirbelströmen in den Metallplatten am Freifallturm.
3. Erklärt mithilfe der Wirbelströme, die sowohl oberhalb als auch unterhalb des fallenden Magneten entstehen, und der Regel von Lenz eure Beobachtungen zu den vorangegangenen Experimenten.
4. Diskutiert in der Klasse unter Einbeziehung eurer Beobachtungen aus dem zweiten Teil des Experiments folgende Aussage mit physikalischen Argumenten.
„Mithilfe einer Magnetbremse kann die vollständige Abbremsung eines sich bewegenden Objekts nicht unter allen Umständen zu einhundert Prozent garantiert werden.“
Übertragt eure daraus gewonnene Erkenntnis auf den Aufbau eines Bremssystems, das ein Abbremsen bis zum vollständigen Stillstand zu jeder Zeit ermöglicht.

Text:

Bei den Magnetbremsen einiger Freifalltürme sind an der herabfallenden Gondel starke Permanentmagnete angebracht. Diese sind so angeordnet, dass sich unterschiedliche Magnetpole nebeneinander befestigter Magnete gegenüberstehen (rechte Darstellung). Diese Magnete bilden schmale Luftspalte.



In diese Luftspalte tauchen beim Bremsvorgang Platten aus einem nicht ferromagnetischen Metall (z. B. Kupfer) ein, die am Turm fest angebracht sind (linke Darstellung). Bei einer Magnetbremse werden in den Metallplatten beim Vorbeifallen der Gondel elektrische Ringströme, sogenannte Wirbelströme, hervorgerufen. Die Entstehung der Wirbelströme kann mit dem Induktionsgesetz erklärt werden. Deshalb werden bestimmte Ausführungen dieses Bremssystems auch als Wirbelstrombremsen bezeichnet. Die Bremswirkung der Wirbelströme beruht auf dem Phänomen des Elektromagnetismus.

Im Vergleich zur mechanischen Reibbremse minimiert der Einsatz von Wirbelstrombremsen die Wartungs- und Servicekosten, da diese Bremssysteme frei von Verschleiß sind. Während des Bremsvorgangs berühren sich die Magnete und die am Turm angebrachten Platten nicht. Des Weiteren wird die Bremskraft dieser Bremsen nicht durch ungünstige Witterungseinflüsse (z. B. Regen, Frost) verringert.

Mögliche Schülerlösungen

Beobachtungen beim Experiment:

- Teilexperiment 1: Beide Magnete treffen gleichzeitig auf der Unterlage auf.
 Teilexperiment 2: Die Kugel, die durch das Kunststoffrohr fällt, schlägt deutlich früher auf der Unterlage auf. Die Kugel, die durch das Kupferrohr fällt, wird abgebremst.

Aufgabe zum Experiment:

Der Fall eines Kugelmagneten durch das Glasrohr erfolgt wahrscheinlich ohne zusätzliche Behinderung (bremsende Kraftwirkung). Ein Kugelmagnet, der durch das Aluminiumrohr fällt, wird wie beim Fallen durch das Kupferrohr abgebremst, *aber im Vergleich zum Fall durch das Kupferrohr etwas schwächer.*

Aufgaben

1. siehe Text

Bei den Magnetbremsen einiger Freifalltürme sind **an der Gondel starke Permanentmagnete angebracht**. Diese sind so angeordnet, dass sich unterschiedliche Magnetpole nebeneinander befestigter Magnete gegenüberstehen (rechte Darstellung). Diese Magnete bilden schmale Luftspalte.

In diese Luftspalte tauchen **beim Bremsvorgang Platten aus einem nicht ferromagnetischen Metall** (z.B. Kupfer) ein, die am Turm fest angebracht sind (linke Darstellung). Bei einer Magnetbremse werden **in den Metallplatten beim Vorbeifallen der Gondel elektrische Ringströme, sogenannte Wirbelströme, hervorgerufen**. Die Entstehung der Wirbelströme kann mit dem Induktionsgesetz erklärt werden. Deshalb werden bestimmte Ausführungen dieses Bremssystems auch als Wirbelstrombremsen bezeichnet. Die **Bremswirkung der Wirbelströme beruht auf dem Phänomen des Elektromagnetismus**.

Im Vergleich zur mechanischen Reibbremse **minimiert der Einsatz von Wirbelstrombremsen die Wartungs- und Servicekosten**, da die **Bremse frei von Verschleiß** ist. Denn während des Bremsvorgangs berühren sich die Magnete und die am Turm angebrachten Platten nicht. Des Weiteren wird die **Bremskraft dieser Bremssysteme nicht durch ungünstige Witterungseinflüsse** (z. B. Regen, Frost) **verringert**.

2. Beim Vorbeifallen der Gondel bzw. des Magneten tritt in den Bereichen oberhalb und unterhalb von dem Magneten jeweils eine Magnetfeldänderung in den Metallplatten auf.
 Unterhalb der Magneten nimmt die Stärke des Magnetfelds der Permanentmagneten, das die Metallplatten durchsetzt, zeitlich zu, oberhalb ab.
 Deshalb werden in den Platten sowohl unterhalb der Magneten als auch oberhalb Wirbelströme induziert.
3. Laut der Regel von Lenz sind die Wirbelströme so gerichtet, dass ihr Magnetfeld der Ursache der Induktion (Bewegung des Magneten) entgegenwirkt.
 Unterhalb der Magneten erfolgt eine Abstoßung, da das Magnetfeld des Magneten und das der Wirbelströme entgegengesetzt gerichtet sind. Oberhalb findet eine Anziehung statt, weil das Magnetfeld des Magneten und das der Wirbelströme gleichgerichtet sind.
 Somit werden die Magnete und deshalb auch die Gondel beim Vorbeifallen an den Metallplatten am Turm abgebremst.
4. Würde die Gondel und somit auch die Magnete zur Ruhe kommen, würden keine Wirbelströme mehr in den leitfähigen Platten am Turm induziert. Denn diese können nur entstehen, wenn sich das Magnetfeld zeitlich ändert, das den elektrischen Leiter (hier die Metallplatten) durchsetzt.
 Somit muss eine Magnetbremse immer mit einer weiteren Bremse, z. B. mit einer herkömmlichen Reibbremse, kombiniert werden, um ein Objekt in allen Situationen vollständig zum Stillstand zu bringen.



Hinweise zum Unterricht

Die Aufgaben sollten die Schülerinnen und Schüler mit dem Wissen aus dem vorangegangenen Teilkapiteln zur Induktion (Induktion in Spulen; Regel von Lenz) weitestgehend eigenständig bearbeiten können.

Die Übertragung des Induktionsphänomens von Spulen auf metallische Körper (hier Metallplatte) sollte Ihnen je nach den Inhalten des vorangegangenen Unterrichts möglich sein. Um dies aber sicher zu stellen, wird eine vorhergehende Besprechung der Erkenntnisse aus dem Experiment notwendig sein.

Des Weiteren werden die Erklärungsaufgaben 2 und 3 von den Schülerinnen und Schülern nicht ohne weitere Hilfestellungen zu bearbeiten sein.

Da in der Aufgabe 2 die Entstehung der Wirbelströme behandelt wird und diese Erklärung sehr ähnlich zu den bereits angefertigten schriftlichen Ausarbeitungen in den vorangehenden Teilkapiteln ist, sollte den Schülerinnen und Schülern deren struktureller Aufbau bekannt sein. Deshalb bietet sich ein Lückentext (mit vorgegebener Wortliste) zur vereinfachten Bearbeitung der Aufgabenstellung an.

Muster für Lückentext:

Beim Vorbeifallen der Gondel bzw. des Magneten tritt in den Bereichen _____
_____ von dem Magneten jeweils eine _____
in den _____ auf.

Unterhalb der Magneten nimmt die _____ der Permanentmagneten, dass die
Metallplatten _____, zeitlich _____, oberhalb _____.

Deshalb werden in den Platten sowohl unterhalb des Magneten als auch oberhalb

_____.

Wortliste (sortiert):

unterhalb und oberhalb; Magnetfeldänderung; Metallplatten; Stärke des Magnetfelds; durchsetzt; zu; ab;
Wirbelströme; induziert

Die Erklärung der Bremswirkung der Wirbelströme schließt ebenso nahtlos an den strukturellen Aufbau der Erklärung von Induktionsphänomen mithilfe der Regel von Lenz an. Dementsprechend kann an dieser Stelle ein Textpuzzle die Bearbeitung und die Sicherstellung eines fachlich angemessenen Ergebnisses ermöglichen.

Muster für Textpuzzle mit einer strukturellen Vorgabe für Schülerlösungen:

Bremswirkung durch Wirbelströme:

- _____.
- unterhalb des Magneten: _____.
- oberhalb des Magneten: _____.
- unterhalb des Magneten: _____.
- oberhalb des Magneten: _____.

Puzzleteile für die Lücken(sortiert):

- *Laut der Regel von Lenz sind die Wirbelströme so gerichtet,*
- *dass ihr Magnetfeld der Ursache der Induktion entgegenwirkt.*
- *Das Magnetfeld des Magneten (2mal)*
- *und das der Wirbelströme sind entgegengesetzt gerichtet.*
- *und das der Wirbelströme sind gleichgerichtet.*
- *Die Magnetfelder stoßen sich somit voneinander ab.*
- *Die Magnetfelder ziehen sich somit gegenseitig an.*
- *Somit werden die Magnete und deshalb auch die Gondel*
- *beim Vorbeifallen an den Metallplatten am Turm abgebremst.*

weitere mögliche Aufgabenstellungen:

- Zur Vorbereitung auf die Experimente und die nachfolgenden Aufgaben könnte in der Klasse das Vorwissen zum Einsatz von Magnetbremsen in heutigen Verkehrsmitteln und anderen technischen Geräten von den Schülerinnen und Schülern zunächst zusammengetragen werden, um dieses richtig abschätzen und an den entsprechenden Stellen einbinden zu können.
- Um die Bremswirkung bei der Entstehung von Wirbelströmen besser verstehen zu können, kann es für einige Schülerinnen und Schülern hilfreich sein, diesen Vorgang aus dem Blickwinkel des Energieerhaltungssatzes und der dabei auftretenden Energieumwandlungen zu betrachten.
- Durch die Betrachtung der Energieumwandlungen beim Fallen der Gondel des Freifallturms (beginnend mit der Höhen-/Lageenergie der Gondel) kann die Folge der Entstehung von Wirbelströmen besprochen werden, die im weiteren Verlauf des Unterrichts noch an mehreren Stellen (Induktionsherd; Energieentwertungen am Generator oder Transformator) zu behandeln sind.

Alternative Aufgabenstellung:

Der strukturelle Aufbau dieser Beispielaufgabe kann ebenso auf die Bremssysteme von anderen Fahrgeschäften wie zum Beispiel Achterbahnen in Freizeitparks übertragen werden. Um deren Bremsen experimentell zu untersuchen bietet es sich an, an der Unterseite von zwei baugleichen, leichten Spielzeugautos starke, dünne Scheibenmagnete zu befestigen. Diese lässt man anschließend über mehrere gleich lange Platten aus verschiedenen leitfähigen und nichtleitfähigen Materialien herunterrollen.

Quellen- und Literaturangaben

Bilder: ISB – 2018

© ISB - 2018