

**Schülerexperiment:****Untersuchung der Abhängigkeit der Induktionsspannung von verschiedenen Größen**

Stand: 30.07.2019

Jahrgangsstufen	10
Fach/Fächer	Physik
übergreifende Bildungs- und Erziehungsziele	--
Zeitrahmen	2 Unterrichtsstunden
benötigtes Material	pro Gruppe: mindestens zwei Spulen mit unterschiedlichen Windungszahlen; mindestens zwei (hinreichend starke) Stabmagnete, ein analoges Spannungsmessgerät (wünschenswert: Null in Mittelstellung), zwei Experimentierkabel.

**Kompetenzerwartungen****Ph 10 1 Elektromagnetismus**

Die Schülerinnen und Schüler ...

- planen selbständig verschiedene Experimente zur Erzeugung von Induktionsspannungen. Sie führen diese selbständig durch, erstellen ein strukturiertes Versuchsprotokoll und formulieren als Ergebnis halbquantitative Aussagen über die Abhängigkeit der Induktionsspannung von verschiedenen Größen.

## Aufgabe

### Untersuchung der Abhängigkeit der Induktionsspannung von verschiedenen Größen

#### Aufstellen von Hypothesen:

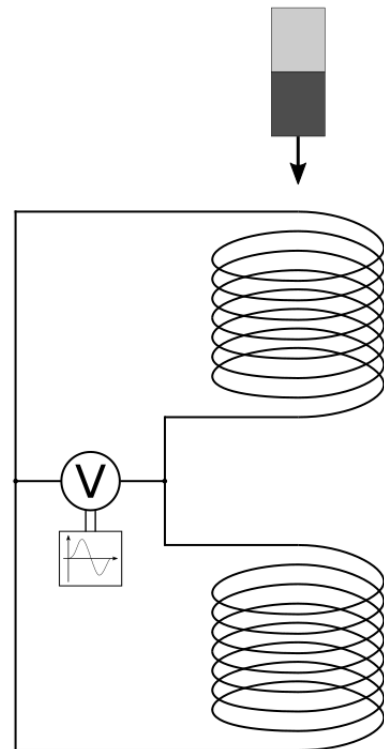
Ein Stabmagnet fällt durch zwei untereinander angeordnete Spulen mit gleicher Windungszahl. Beide Spulen sind mit dem gleichen Eingang eines Messwertersystems verbunden, welches die in den Spulen auftretenden Spannungen in einem  $t$ - $U_i$ -Diagramm darstellt.

Dieses Experiment ist in einem Videoclip und in einer Bilderfolge, die verschiedene aufeinander folgende Momentaufnahmen zeigt, dargestellt. Parallel zum Fall des Magneten sehen Sie, wie das  $t$ - $U_i$ -Diagramm entsteht.

Betrachten Sie den Videoclip und/oder die Bilderfolge, gegebenenfalls mehrmals.

Formulieren Sie basierend auf Ihren Beobachtungen Hypothesen, wovon die auftretende Spannung abhängt, wenn sich ein Magnet relativ zu einer Spule bewegt.

Wenn Sie zu dieser Frage weitere Vermutungen haben, können Sie auch diese formulieren. Kennzeichnen Sie dabei deutlich, dass sie sich nicht aus den Beobachtungen im gezeigten Experiment ergeben.



Zur Unterstützung stehen Hilfekarten oder die folgenden QR-Codes zur Verfügung.



Hinweis 1



Hinweis 2



Hinweis 3



Hinweis 4

Weitere mögliche Fragen:



Hinweis 1



Hinweis 2

## Planung des Experiments:

Jede einzelne Ihrer Vermutungen soll nun experimentell überprüft werden.

Planen Sie Experimente, mit denen Sie die vermuteten Einflüsse getrennt voneinander in einem vereinfachten Versuchsaufbau untersuchen können.

Dokumentieren Sie die Planung der Experimente in geeigneter Form, z. B. mithilfe von Skizzen des Versuchsaufbaus und einer Beschreibung der Durchführung einschließlich der geplanten Messungen.

## Durchführung und Auswertung des Experiments:

Führen Sie Ihre Experimente nun durch und dokumentieren Sie sie in einem strukturierten Versuchsprotokoll.

Formulieren Sie für jede Hypothese, die sich bestätigt hat, den von Ihnen gefundenen Zusammenhang, beispielsweise in Form einer Je-desto-Aussage. Hat sich eine Hypothese nicht bestätigt, formulieren Sie eine zum Ausgang des Experiments passende Aussage.

Fassen Sie die Beobachtungen übersichtlich zusammen.

Material: Ablauf des Experiments als...



Videoclip 1: Bilderfolge



Videoclip 2: Video

## Hilfekarten zur Unterstützung bei der Formulierung von Hypothesen

1

Die induzierte Spannung steigt bei der Annäherung des Magneten an die erste Spule erst allmählich an.

Woran kann das liegen?

(Hierfür lassen sich mindestens zwei unterschiedliche Gründe vermuten.)

2

Während sich der Magnet durch die erste Spule bewegt, ändert sich das Vorzeichen der induzierten Spannung.

Woran kann das liegen?

3

Vergleichen Sie die Höhe der Spannungen (z. B. die Maximalwerte) bei der Bewegung durch die erste und die zweite Spule miteinander.

Was kann die Ursache für die Unterschiede sein?

4

Vergleichen Sie die Vorzeichen der Spannungen bei der Bewegung durch die erste und die zweite Spule miteinander.

Was kann die Ursache für die Unterschiede sein?

5

Weitere mögliche Fragen:

Kommt es darauf an, ob sich die Spule oder der Magnet bewegt?

Spielt die Windungszahl der verwendeten Spule eine Rolle?

6

Weitere mögliche Fragen:

Ist es entscheidend, dass sich der Magnet durch die Spule hindurchbewegt?

Lässt sich auch etwas beobachten, wenn er sich außerhalb der Spule bewegt?

## Hinweise zum Unterricht

### Kompetenzbereiche

Hinsichtlich des Experimentierens soll sich die Kompetenz der Schülerinnen und Schüler in Jahrgangsstufe 10 dahin entwickeln, dass sie selbständig Experimente planen (und diese auch selbständig durchführen und protokollieren) können.

Der Aufbau und die Durchführung der Experimente zur Induktion sind wenig anspruchsvoll. Im hier beschriebenen Schülerexperiment soll hinsichtlich der Planung von Experimenten insbesondere der Aspekt angesprochen werden, aus der Beobachtung eines relativ komplexen Vorgangs möglichst viele einzelne Zusammenhänge herauszuarbeiten, die anschließend in elementaren Experimenten untersucht werden sollen. Das Ziel ist die Formulierung der Ergebnisse in halbquantitativer Form, beispielsweise in Form von je-desto-Aussagen.

Als Einstieg dient ein Videoclip, welcher die gemessene Spannung während des freien Falls eines Stabmagneten durch zwei untereinander angeordnete Spulen zeigt. Dieses Experiment ist bisher aus dem Unterricht der Oberstufe bekannt. Es soll keinesfalls in ähnlicher Tiefe besprochen werden. Das Video dient ausschließlich dazu, möglichst viele Einflussfaktoren zu identifizieren, von denen die in den Spulen auftretende Spannung (einschließlich ihrer Polung) abhängen könnte. Daran anschließend planen die Schülerinnen und Schüler mit einfachen Mitteln (Magnet, Spule, Spannungsmessgerät) Versuche, mit welchen sich diese vermuteten Zusammenhänge untersuchen lassen, führen sie durch und werten sie aus.

Zur Dokumentation des Experiments in einem Protokoll werden in der Aufgabenstellung keine detaillierten Anweisungen mehr gegeben; das Protokollieren von Experimenten sollte aus den vorangegangenen Jahrgangsstufen bekannt und eingeübt sein. Genauer dazu findet sich im Dokument „Protokollieren von Schülerexperimenten“.

Zur Einübung und Diagnose der hier angesprochenen Kompetenzen kann die Aufgabe „Fahrraddynamo“ (Modellexperiment) eingesetzt werden.

### Verortung im Unterricht

Die Schülerinnen und Schüler sollen anhand von Experimenten möglichst vielfältige Möglichkeiten zusammenstellen, mithilfe eines Magneten in einer Spule eine Spannung zu induzieren. Im Anschluss an diese Versuchssequenz lernen sie das Induktionsgesetz kennen und erkennen, dass mit ihm alle vorher beobachteten Phänomene erklärt werden können.

Dieses Schülerexperiment hat seinen Platz sehr früh in der Unterrichtssequenz zum Thema Induktion. Es kann sinnvoll sein, ihm ein erstes, elementares Demonstrationsexperiment voranzustellen, welches das Phänomen der Induktion zeigt, ohne dieses Experiment aber schon hin zu Variationsmöglichkeiten oder einer systematischen Untersuchung zu entwickeln. Ebenso sinnvoll kann die Hinführung über die Vorstellung eines technischen Geräts sein, das auf einem elementaren Induktionsphänomen beruht (z. B. Schüttel-Taschenlampe, s. u.). Es ist aber auch denkbar, wenn auch anspruchsvoller, in den Themenbereich direkt durch den Einsatz des Videoclips zu diesem Schülerexperiment einzusteigen.

Für jedes Schülerexperiment sind im Lehrplan zwei Unterrichtsstunden veranschlagt. Im Folgenden soll eine Möglichkeit für die Ausgestaltung dieser zwei Stunden beschrieben werden.

In der ersten Stunde kann man nach einer (kurzen) Hinführung zum Thema Induktion zunächst Hypothesen anhand des im Video gezeigten Experiments formulieren lassen. Eine Plenumsphase danach dürfte in der Regel nicht erforderlich sein. Im Anschluss daran erfolgen die Planung und der Aufbau des Experiments, dabei beginnen die Schülerinnen und Schüler auch mit der Anlage des Protokolls. Erste Experimente und die Fixierung der gemachten Beobachtungen sollten auch noch in dieser ersten Stunde möglich sein.

In der Folgestunde kann die Möglichkeit gegeben werden, die experimentellen Untersuchungen fortzusetzen, insbesondere weil die Versuche sehr rasch aufgebaut sind. Danach, oder auch ohne diese zusätzliche Experimentierphase, wird das Protokoll fertiggestellt. Anschließend werden die Ergebnisse einiger Gruppen präsentiert. Für das Weitere sind verschiedene Vorgehensweisen vorstellbar.

Es kann direkt im Anschluss an das Schülerexperiment das Induktionsgesetz vorgestellt werden (als ein grundlegendes Gesetz, das nicht herzuleiten ist, zu dessen Entdeckung aber Beobachtungen wie die hier gemachten beigetragen haben). Der Vergleich der Beobachtungen beim Schülerexperiment mit dem Induktionsgesetz zeigt, dass sich alle Beobachtungen mit dem Induktionsgesetz erklären lassen.

Es ist auch denkbar, zunächst in Demonstrationsexperimenten weitere Erfahrungen zur Induktion zu sammeln, etwa durch die Verwendung einer Spule, die als Elektromagnet das Magnetfeld erzeugt, welches bei seiner Veränderung in einer zweiten Spule eine Spannung induziert, und im Anschluss daran das Induktionsgesetz vorzustellen. Bei der als erstes beschriebenen Vorgehensweise werden sich solche weiteren Beispiele an die Besprechung des Induktionsgesetzes anschließen.

### Möglicher Kontext als Hinführung zum Inhalt des Experiments:

Schüttel-Taschenlampe (hier ist der Aufbau sehr nahe an dem des im Videoclip gezeigten Experiments).



### Didaktische Hinweise

Ein alternativer Experimentierauftrag kann lauten, dass die Schülerinnen und Schüler unter Verwendung des gegebenen Materials ohne weitere inhaltliche Vorbereitung frei erkunden sollen, wovon die in der Spule induzierte Spannung abhängt.

Der Nachteil dieser Aufgabenstellung ist, dass das in der Kompetenzerwartung angesprochene Planen von Experimenten hierbei nur eine recht geringe Rolle spielt.

### Umsetzungsvorschläge

- Versuchsmaterial

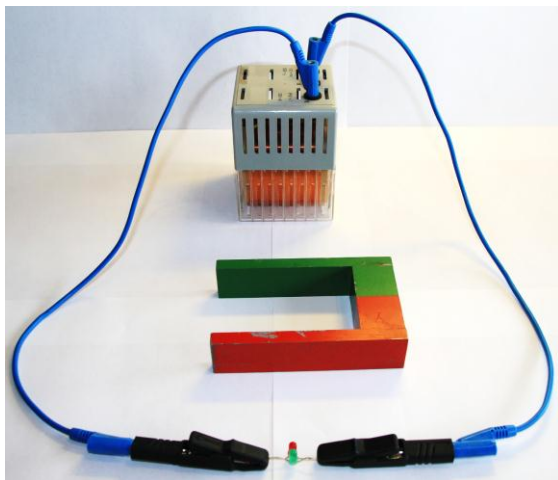
Für diesen Versuch ist die Verwendung analoger Spannungsmessgeräte (Zeigerinstrumente) erforderlich. Wünschenswert ist ein Instrument mit Null in Mittelstellung, um auch die Polung der induzierten Spannung betrachten zu können. Digitale Messgeräte sind zu träge (bzw. zeigen nur Momentaufnahmen der Spannung mit zu großem zeitlichen Abstand an).

Abhängig von der Stärke der verfügbaren Magnete kann die Verwendung von Messgeräten mit eingebautem Messverstärker erforderlich sein. Die günstigere Lösung stellt aber die Anschaffung hinreichend starker Magnete dar.

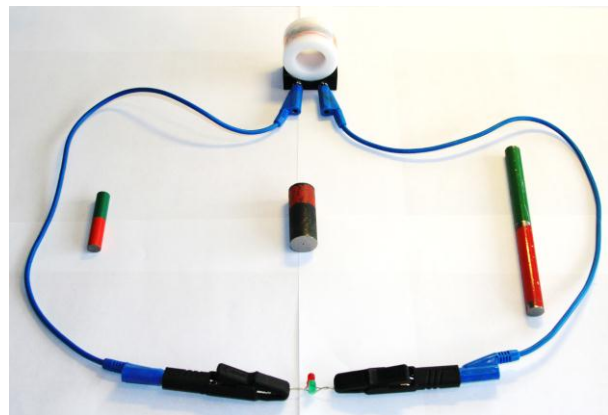
Insbesondere wenn keine geeigneten Zeigerinstrumente zur Verfügung stehen, kann für die Anzeige der induzierten Spannung auch ein Paar zueinander parallel geschalteter Leuchtdioden mit entgegengesetzter Durchlassrichtung in Betracht kommen. Dabei ist es erforderlich, darauf zu achten (durch geeignete Wahl von Windungszahlen und Magneten), dass die induzierten Spannungen ausreichen, um die LEDs zum Leuchten zu bringen und möglichst Spannungsunterschiede durch unterschiedliche Helligkeiten erkennbar sind. Dies erfordert entweder Spulen mit Windungszahlen ab  $N = 10000$  oder starke Magnete. Die beiden folgenden Abbildungen zeigen geeignete Kombinationen.



$N = 1000$



$N = 10000$



Zur Untersuchung des Einflusses der Stärke des Magneten können mehrere unterschiedliche Magnete zum Einsatz kommen. Sind nur gleiche Magnete verfügbar, kann ein stärkerer Magnet auch dadurch realisiert werden, dass man zwei dieser Magnete in gleicher Polung nebeneinander hält.

- Hinweis zum Videoclip

Im Video ist der zeitliche Verlauf der Entstehung des Diagramms nicht synchron zum Verlauf des Falls des Magneten. Dies ist in der Arbeitsweise des Messwerterfassungssystems begründet.

Damit ist dieses Video nur dazu geeignet, den Verlauf und das Ergebnis des Experiments zu zeigen; Standbilder eignen sich nicht zur Verwendung. Zu diesem Zweck steht eine Sequenz von Einzelbildern zur Verfügung, entweder als durchlaufender Film oder als einzelne Grafikdateien. Damit Schülerinnen und Schülern individuell mit diesen Materialien arbeiten können, stehen sie im LIS zum Download zur Verfügung, erreichbar auch über die in der Aufgabe abgebildeten QR-Codes.

- Unterstützungsmöglichkeiten

Die Formulierung von Hypothesen kann gegebenenfalls durch Impulse auf den oben mitgelieferten Hilfekarten unterstützt werden.

## Beispiele für Produkte und Lösungen der Schülerinnen und Schüler

Mögliche Vermutungen, die sich aus der Betrachtung des Videos/der Bilderfolge ergeben:

- Die Höhe der induzierten Spannung hängt von der Geschwindigkeit der Bewegung des Magneten ab.
- Die Höhe der induzierten Spannung hängt davon ab, wie nahe sich der Magnet an der Spule befindet/wie stark das Magnetfeld bei der Spule ist.
- Die Polung der induzierten Spannung unterscheidet sich zwischen dem Eintreten des Magneten in die Spule und dem Austreten.
- Für die Polung der induzierten Spannung spielt es eine Rolle, wie der Magnet und die Spule zueinander orientiert sind.

Mögliche weitere Vermutungen:

- Die Höhe der induzierten Spannung hängt von der Anzahl der Windungen der Spule ab.
- Die Höhe der induzierten Spannung hängt von der Stärke des verwendeten Magneten ab.
- Wenn sich der Magnet nicht durch die Spule hindurch bewegt, dann wird keine Spannung induziert.
- Anstelle des Magneten kann sich auch die Spule bewegen.

Beispiel für ein Versuchsprotokoll:

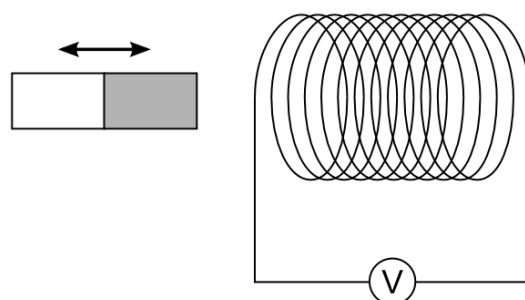
### Ziel des Experiments

Wovon hängen die Größe und die Polung der induzierten Spannung ab, wenn sich ein Magnet relativ zu einer Spule bewegt?

### Aufbau des Versuchs:

Mit einem Spannungsmessgerät wird die Spannung zwischen den beiden Enden einer Spule gemessen.

Variationen: Spulen unterschiedlicher Windungszahlen





## Beschreibung der Versuchsdurchführung:

Während unterschiedlicher Bewegungen zwischen Magnet und Spule wird die induzierte Spannung (Höhe und Polung) beobachtet. Dabei wird jeweils nur eine der vermuteten Einflussgrößen verändert.

- Bewegung des Magneten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten
- Bewegung des Magneten zur Spule hin/von der Spule weg
- Bewegung des Nordpols/des Südpols des Magneten zur Spule hin
- Bewegung unterschiedlich starker Magnete
- Bewegung des gleichen Pols des Magneten zu den unterschiedlichen Seiten der Spule hin
- Bewegung des Magneten in unterschiedlichen Entfernungen von der Spule
- Verwendung von Spulen mit unterschiedlicher Windungszahl
- Bewegung der Spule anstelle des Magneten
- Bewegung eines Magnetpols an einem Ende der Spule vorbei
- Bewegung des Magneten außerhalb der Spule

## Auswertung:

Spannung entsteht dann, wenn sich das Magnetfeld in der Spule verändert.

Die Höhe der Spannung hängt davon ab, wie schnell das passiert, wie stark der verwendete Magnet ist und wie viele Windungen die Spule hat. Ihr Vorzeichen hängt von der Bewegungsrichtung ab und davon, wie der Magnet und die Spule zueinander orientiert sind.

## Beobachtungen:

Einflüsse auf die in der Spule induzierte Spannung:

- Je schneller die Bewegung des Magneten ist, desto größer ist die induzierte Spannung.
- Wenn sich die Bewegungsrichtung des Magneten ändert, dann ändert sich das Vorzeichen der induzierten Spannung.
- Wenn sich der andere Pol des Magneten zur Spule hin bewegt, dann ändert sich das Vorzeichen der induzierten Spannung.
- Je stärker der Magnet ist, desto größer ist die induzierte Spannung.
- Wenn sich der gleiche Pol des Magneten zur anderen Seite der Spule hin bewegt, dann ändert sich das Vorzeichen der induzierten Spannung.
- Je näher an der Spule die Bewegung des Magneten erfolgt, desto größer ist die induzierte Spannung.
- Je größer die Windungszahl der verwendeten Spule ist, desto größer ist die induzierte Spannung.
- Es spielt keine Rolle, ob sich die Spule oder der Magnet bewegt.
- Auch wenn sich der Magnet an einem Ende der Spule vorbei bewegt, wird Spannung induziert.
- Wenn sich der Magnet an anderen Stellen außerhalb der Spule bewegt, werden nur deutlich kleinere Spannungen induziert.

Es ist davon auszugehen, dass nicht alle Experimentiergruppen alle in diesem Protokoll genannten Aspekte untersuchen und somit auch nicht alle Beobachtungen von allen Gruppen gemacht werden. Beispielsweise ist es auch ein denkbares Ergebnis, die Bewegung als Ursache für das Auftreten der Spannung zu identifizieren. Die Zusammenführung der Ergebnisse aller Gruppen muss im anschließenden Unterrichtsverlauf erfolgen.

Das Ziel der Auswertung des Experiments ist (vgl. die Aufgabenstellung) lediglich die Zusammenfassung der Beobachtungen, nicht die Formulierung eines Gesetzes. Es kann auch sinnvoll sein, auf diesen (kleinen) Schritt der Zusammenfassung im Rahmen des Experiments zu verzichten und erst im nachfolgenden Unterricht zu thematisieren, dass sich die ganze Palette der Beobachtungen mit dem Induktionsgesetz erklären lässt.

### Anregung zum weiteren Lernen

Insbesondere für leistungsstarke Gruppen sind beispielsweise die folgenden Möglichkeiten zur Vertiefung denkbar:

- Unter Verwendung einer mit einer Elektrizitätsquelle verbundenen Spule (als Elektromagnet) soll versucht werden, einerseits möglichst viele der im Schülerexperiment untersuchten Aspekte nachzustellen und andererseits weitere Möglichkeiten zur Erzeugung einer induzierten Spannung zu finden.
- Mit Taschencomputern (CAS-Taschenrechnern) und entsprechenden Spannungssensoren können die Schülerinnen und Schüler selbst mit einem mobilen Messwerterfassungssystem arbeiten und damit, ähnlich dem im Video dargestellten Experiment, induzierte Spannungssignale noch detaillierter untersuchen.