

Berührungsloses Bremsen - Konzeptbildung

Physik SII

Florian Spickermann

Didaktische Hinweise

Lernziel

Umgang mit Fachwissen: Die Schülerinnen und Schüler können mit der Lenzschen Regel erklären, wie das Prinzip einer berührungslosen Bremse funktioniert.

Einordnung in die Basismodelle des Lernens

Basismodell Konzeptbildung

	Handlungskettenschritte im Basismodell Konzeptbildung	Arbeitsschritte der Lernaufgabe
0	Im Lernkontext ankommen	Freifallturm wieder aufgreifen
1	Wissen bewusst machen	Erfahrungen der letzten Einheit bewusst machen/ kognitive Lücke aufzeigen
2	Prototypisches Muster durcharbeiten	<i>Informationstext</i> lesen
3	Wesentliche Prinzipien und Merkmale darstellen	AB <i>Filmstreifen selber nutzen</i> ; Ziel: Merkmale der Lenz'sche Regeln nennen können.
4	Mit neuem Konzept aktiv umgehen	AB <i>Konzept selber nutzen</i>
5	Neues Konzept in anderen Kontexten anwenden	AB <i>Neue Sichtweisen auf das Konzept</i>

Lernvoraussetzungen

Die Schülerinnen und Schüler können

- erläutern, wie die Magnetfeldlinien von gängigen Dauer- und Elektromagneten verlaufen.
- beschreiben, wovon das Auftreten einer Induktionsspannung abhängt ($U_{ind} \propto n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$)
- angeben, bei welchen Experimenten zur Lenz'schen Regel Gegenstände eine *Hemmung* erfahren (vgl. SINUS-Material zur Lenz'schen Regel)

Weitere Hinweise

- Die Schülerinnen und Schüler sollen das grundlegende Vorgehen auf eine möglichst einfache Art kennenlernen (*Informationsmaterial*) und nutzen (*Filmstreifen selber nutzen*). Daher wurde auf das Einzeichnen der Feldlinien verzichtet, kann aber natürlich gerne ergänzend vorgenommen werden. Die Begründung der Lenz'schen Regel erfolgt im Kraftbild.
- Die Materialien *Informationsmaterial* und *Filmstreifen selber nutzen* dienen dem Herausarbeiten der wesentlichen Merkmale der Lenz'schen Regel.
- Beim Arbeitsblatt *Konzept selber nutzen* wird dann die Lenz'sche Regel angegeben, nun kann direkt darüber argumentiert werden. Filmleisten sollen/können helfen, stets strukturiert und genau zu argumentieren.
- Die Begründung der *Gegenwirkung* (Lenz'sche Regel) erfolgt in Phase 5 zusätzlich durch eine energetische Betrachtung (*Neue Sichtweisen auf das Konzept*).

Nach welchem Prinzip findet das Abbremsen beim Freifallturm statt?

In der letzten Stunde habt ihr Experimente kennengelernt und durchgeführt, bei denen eine *Hemmung der Bewegung* beobachtet werden konnte. Nach dem gleichen Prinzip wird auch die Kabine beim Freifallturm abgebremst.

Es soll im Folgenden darum gehen, dass ihr das dahinterstehende **Konzept** versteht und anwenden könnt.

Entscheidendes **Lernprodukt**: Den Abbremsvorgang beim Freifallturm mithilfe einer Filmleiste physikalisch genau erklären.



Quelle: pixabay.com

Aufgaben:

Lies das *Informationsmaterial*, damit du das grundlegende Vorgehen anhand einer Filmleiste kennenlernst.

Nutze das grundlegende Vorgehen, um das Material *Filmleiste selber nutzen* zielführend bearbeiten und die Lenz'sche Regel verstehen zu können. Vergleiche die Bearbeitung mit der vorne ausliegenden Lösung.

Beim Material *Konzept selber nutzen* wird die Lenz'sche Regel angegeben. Mit Filmleisten und dem Konzept der Lenz'schen Regel sollst du dann zunächst den Abbremsvorgang beim Freifallturm erklären, danach verschiedene, zum Teil dir bekannte Experimente physikalisch analysieren.

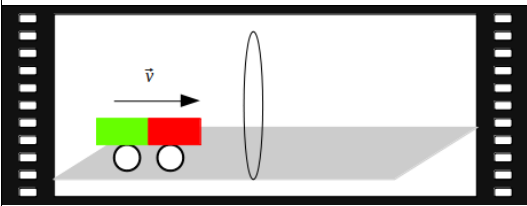
Abschließend kannst du im Material *Neue Sichtweisen auf das Konzept* unter anderem eine Erklärung für die Lenz'sche Regel finden.

Mit dieser Aufgabe lernst du

physikalisch genau zu erklären, wie das Prinzip der berührungslosen Bremse funktioniert.

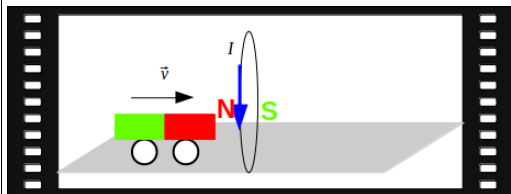
Informationsmaterial

Ein Magnetwagen fährt in eine Leiterschleife.



Ein Wagen mit einem Dauermagneten fährt reibungsfrei mit konstantem Tempo auf eine Leiterschleife zu.

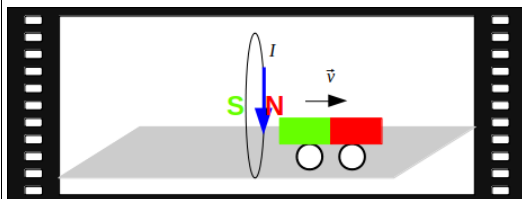
in die Schleife fahren



Aus Sicht der Leiterschleife ändert sich das äußere Magnetfeld (**Magnetfeldaufbau**).

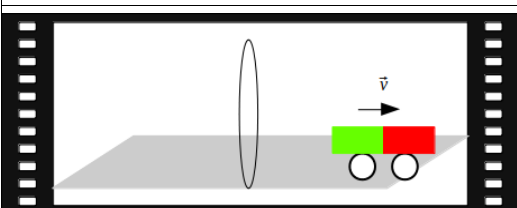
1. Damit tritt in der Leiterschleife eine Induktionsspannung auf, die einen Induktionsstrom (I) in den Spulen nach sich zieht.
2. Die stromdurchflossene Leiterschleife erzeugt bekanntermaßen ein Magnetfeld. Es kommt zu einer magnetischen Wechselwirkung zwischen Leiterschleife und Wagen, bei der der **Magnetfeldaufbau** gehemmt wird.
3. Der Nordpol des Leiterschleifenfeldes stößt den Nordpol des Wagen ab, der Wagen verringert sein Tempo (s. Geschwindigkeitsvektor).

aus der Schleife fahren



Aus Sicht der Leiterschleife ändert sich das äußere Magnetfeld (**Magnetfeldabbau**).

1. Damit tritt in der Leiterschleife eine Induktionsspannung auf, die einen Induktionsstrom (I) in den Leiterschleifenkabeln nach sich zieht.
2. Die stromdurchflossene Spule erzeugt bekanntermaßen ein Magnetfeld. Es kommt zu einer magnetischen Wechselwirkung zwischen Spule und Wagen, bei der nun der **Magnetfeldabbau** gehemmt wird.
3. Der Nordpol des Leiterschleifenfeldes zieht den Südpol des Wagen an, der Wagen verringert sein Tempo abermals (s. Geschwindigkeitsvektor).

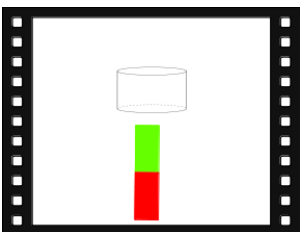
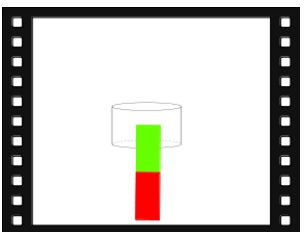
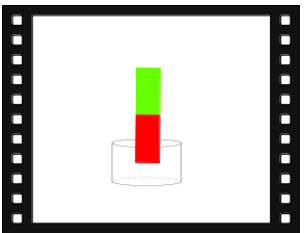
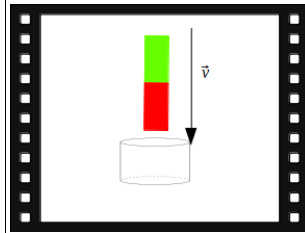
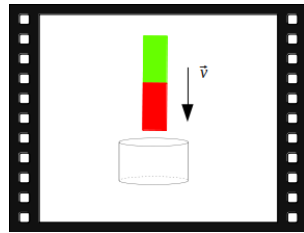





Der Magnetwagen fährt mit geringerem Tempo (s. Geschwindigkeitsvektor) als vorher weiter.

Filmleisten selber nutzen

a) Ein Magnet fällt durch ein Rohrstück aus Kupfer.
 - Schreibe die im Film dargestellten Sachverhalte auf.
 - Ergänze die Filmstreifen. Denke dabei auch an die Geschwindigkeitsvektoren.

b) Nun hat der Magnet ein höheres Anfangstempo im Vergleich zu a)
 - Ergänze die Filmstreifen. Denke dabei auch an die Geschwindigkeitsvektoren.
 - Gib an, wie sich die Sachverhalte im Vergleich zu a) ändern.

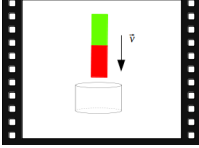
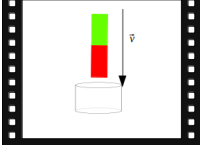
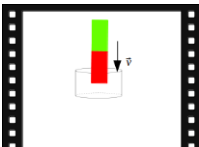
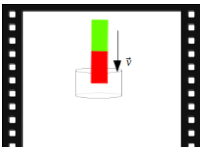
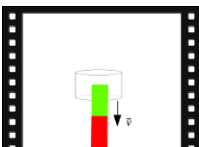
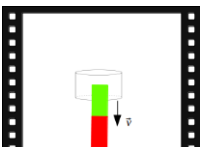
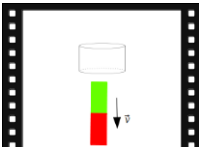
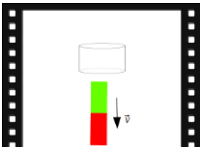


Ergänze folgende Sätze. Die Wortfelder unter der Tabelle können dir helfen.	Lösung
• Ein Induktionsstrom tritt dann auf, wenn	
• Der Induktionsstromstärke ist umso höher, je	
• Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass	

Änderung/ ändern/ stärker/ schwächer/ magnetischer Fluss/ zeitlich/ Stärke/ Hemmung/
äußeres Magnetfeld/ Magnetfeld

Die Lenz'sche Regel in ausformulierter Form ist auf dem Arbeitsblatt **Konzept selber nutzen** zu finden.

LÖSUNGEN *Filmleisten selber nutzen*

	<p>Der Magnet ist durch die Erdanziehung zunehmend schneller geworden.</p>		<p>Hier ist das Anfangstempo höher.</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aus Sicht Kupferrohrs ändert sich das äußere Magnetfeld (Magnetfeldaufbau). 2. Im Rohr ergibt sich ein Induktionsstrom. 3. Das Magnetfeld des stromdurchflossenen Rohres hemmt den Magnetfeldaufbau. 4. Der Nordpol des Rohres stößt den Magneten ab. Ist diese Einwirkung sehr stark, verringert der Magnet sein Tempo.¹ 		<p>Das höhere Tempo führt dazu, dass aus Sicht des Rohres ein stärkerer Magnetfeldaufbau vorliegt. Damit ist der Induktionsstrom deutlich stärker, weshalb die Hemmung entsprechend stärker ist. Also ist die Tempoverringung deutlich höher als bei a).</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aus Sicht Kupferrohrs ändert sich das äußere Magnetfeld (Magnetfeldabbau). 2. Im Rohr ergibt sich ein Induktionsstrom. 3. Das Magnetfeld des stromdurchflossenen Rohres hemmt den Magnetfeldabbau. 4. Der Südpol des Rohres zieht den Magneten ab. Ist diese Einwirkung sehr stark, verringert der Magnet abermals sein Tempo. 		<p>Abermals ist das Tempo höher, weshalb eine stärkerer Magnetfeldabbau vorliegt. Der stärkere Induktionsstrom hemmt die Magnetbewegung entsprechend stärker. Die Tempoverringung ist wieder höher als bei a).</p>
	<p>Der Magnet verlässt das Kupferrohr mit einem geringeren Tempo als zu Beginn der Betrachtung. Von nun an erhöht sich das Tempo durch die Erdanziehung wieder schrittweise.</p>		<p>Die stärkeren Hemmung sorgen dafür, dass sich der Magnet nun genauso wie bei a) fortbewegt.</p>

SINUS NRW - 2020

- Ein Induktionsstrom tritt dann auf, wenn sich der magnetische Fluss zeitlich ändert. Damit ändert sich entweder die von den Magnetfeldlinien durchsetzte Fläche oder die Magnetfeldstärke.
- Der Induktionsstromstärke ist umso höher, je stärker sich der magnetische Fluss zeitlich ändert.
- Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er ein Magnetfeld erzeugt, das eine Änderung des äußeren Magnetfeldes gehemmt wird..

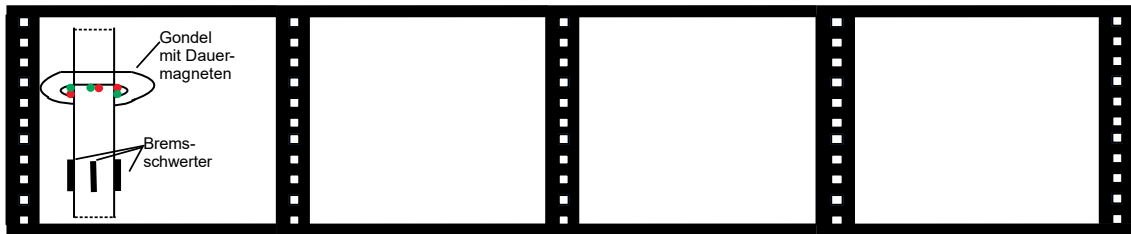
¹ Hier müsste man genaue Kenntnisse über die Beschleunigungen bedingt durch die magnetische Wirkung als auch durch die Gravitation haben, um wirklich angeben zu können, wie genau sich das Tempo ändert. Bei unserem Beispiel sei die Beschleunigung durch die magnetische Wirkung höher als die durch Gravitation hervorgerufene.

Konzept selber nutzen

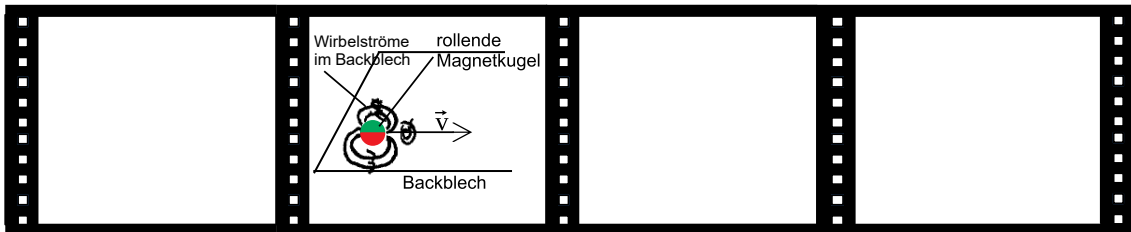
Lenz'sche Regel: Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er der Ursache seiner Entstehung entgegenwirkt.

- Die Folge kann die Hemmung einer Bewegung sein (Bremsprinzip). Die Gegenwirkung kann aber auch eine Geschwindigkeitszunahme sein (vgl. Aufgabe c).
- Die Gegenwirkung wird durch ein Minuszeichen im Induktionsgesetz zum Ausdruck gebracht: $U_{ind} = -n \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
- Eine stärkere zeitliche Änderung des magnetischen Flusses zieht somit einen höheren Induktionsstrom nach sich, welcher wiederum für eine stärkere Gegenwirkung sorgt.

- a) An den Fahrgasträgern eines Freifallturms sind starke Dauermagnete angebracht.² Im unteren Turmbereich sind Bremschwerter so positioniert, dass eine Wechselwirkung mit den Dauermagneten möglich ist. Ergänze die Filmleiste, mit der du das Bremsprinzip veranschaulicht und erkläre die Vorgänge, gehe auch auf die Geschwindigkeitsvektoren ein.



- b) Erkläre mit der Filmleiste und der Lenz'schen Regel das Bremsprinzip beim Experiment mit dem Backblech und rollenden Gegenständen (Achterbahnbremse).



- c) Erkläre mithilfe einer Filmleiste und der Lenz'schen Regel, warum der Aluminiumring nach links ausgelenkt wird, wenn sich von rechts ein Magnet nähert.

- d) Der nebenstehende QR-Code ist auf den Thomson'schen Ringversuch (**Teil der 25 obligaten Experimente**) verlinkt (Film 2).³ Erkläre mithilfe einer Filmleiste und der Lenz'schen Regel die beiden Auslenkungen des Rings.



² Vgl. https://de.wikipedia.org/wiki/Mystery_Castle [zuletzt aufgerufen am 5.4.19]

³ <https://www.schulentwicklung.nrw.de/materialdatenbank/material/view/5244> [zuletzt aufgerufen am 30.1.20]

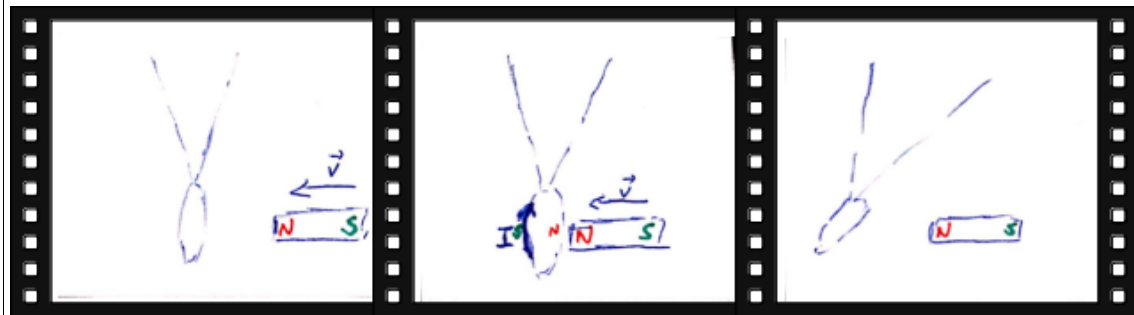
LÖSUNGEN Konzept selber nutzen

a)		
1. Bild		Die Gondel befindet sich am höchsten Punkt und bewegt sich zunächst nicht.
2. Bild		<p>Durch den freien Fall wird das Tempo der Gondel zunehmend höher. Nähert sich die Permanentmagnete der Gondel den Bremsschwertern, entstehen darin Induktionsströme, die Magnetfelder erzeugen, die der Ursache (hier dem Magnetfeldaufbau) entgegenwirken.</p> <p>Die Folge ist ein deutliches Abbremsen durch die magnetische Abstoßung.</p>
3. Bild		<p>Beim Verlassen der Bremsschwerter ist liegt ebenfalls ein Abbremsvorgang vor. Nach Lenz sind die Induktionsströme in den Schwertern wieder so gerichtet, dass sie Magnetfelder erzeugen, die der Ursache entgegenwirken. Das ist hier der Abbau des äußeren Magnetfeldes.</p> <p>Die magnetische Anziehung sorgt also für ein weiteres Abbremsen.</p>
4. Bild		Wegen des geringens Tempos der Gondel kann diese nun auf mechanische Art und Weise zum Stoppen gebracht werden.

LÖSUNGEN Konzept selber nutzen

b)		
1. Bild	Die Magnetkugel wird auf ein Backblech geworfen.	
2. Bild	<p>Im Backblech werden nach Lenz Induktionsströme induziert, die so gerichtet sind, dass sie Magnetfelder erzeugen, die der Ursache (hier dem Aufbau eines äußeren Magnetfeldes) entgegenwirken. Die Folge ist ein starker Abbremsen.</p> <p>Hinweis: Es entstehen im Blech an sehr vielen Stellen mehrere kleine in sich geschlossene Wirbelströme.</p>	
3. Bild	<p>Die mittlerweile deutlich verlangsamte Kugel induziert nach Lenz wieder mehrere Wirbelströme, die eine weitere Gegenwirkung (hier ein Abbremsen) verursachen. Zum einen entstehen hinter der Kugel Magnetfelder, die eine magnetische Anziehung bewirken, weil nach Lenz einer weiteren Magnetfeldabnahme entgegengewirkt wird. Zum anderen entstehen vor der Kugel Magnetfelder durch die Wirbelströme, die eine magnetische Abstoßung hervorrufen. Die Folge ist ein weiteres Abbremsen.</p>	
4. Bild	Die Kugel ruht. Im Backblech werden nun keine weiteren Wirbelströme induziert, da ein sich änderndes Magnetfeld fehlt.	

LÖSUNGEN Konzept selber nutzen

c)		
1. Bild		Der Magnet wird per Hand auf den Ring zugeführt. Noch ist der Magnet weit weg, sodass im Aluminiumring keine bedeutsame Magnetfeldänderung verzeichnet werden kann.
2. Bild		Ist der Abstand gering, wird nun im Ring ein Induktionsstrom erzeugt, der der Ursache seiner Entstehung entgegenwirkt. Die Ursache ist der Aufbau eines Magnetfeldes, also erzeugt der Induktionsstrom ein Magnetfeld, welches dem äußeren entgegenwirkt. Es findet eine magnetische Abstoßung statt.
3. Bild		Beide Objekte erfahren abstoßende Kräfte. Da der Ring frei aufgehängt ist, schlägt dieser nach links aus. Auf den Magneten wirkt eine Kraft nach rechts, die jedoch von der Hand des Experimentators ausgeglichen werden kann.

LÖSUNGEN Konzept selber nutzen

<p>d)</p>		
<p>1. Bild</p>	<p>Der Ring ruht, der Stromkreis der Spule ist nicht geschlossen – nichts passiert.</p>	
<p>2. Bild</p>	<p>Der Stromkreis mit der Spule wird geschlossen, es baut sich ein Magnetfeld auf, das durch den Eisenkern verstärkt wird.</p> <p>Nach Lenz wird im Aluminiumring ein Strom induziert, der dem äußeren Magnetfeldaufbau entgegenwirkt. Die Folge ist eine magnetische Abstoßung, sodass der Ring nach links ausgelenkt wird.</p> <p>Hinweis: Auch die Spule erfährt eine Kraft – nach rechts –, jedoch sorgen die Masse des Spulenaufbaus und Reibungseffekte dafür, dass keine Bewegung erfolgt.</p>	
<p>3. Bild</p>	<p>Der Stromkreis ist weiterhin geschlossen, der Ring befindet sich nach einiger Zeit wieder in der Ruhelage und bewegt sich nicht.</p> <p>Nichts passiert, da keine Induktionseffekte zu verzeichnen sind – keine Magnetfeldänderung, keine Flächenänderung der von Feldlinien durchsetzten Fläche.</p>	
<p>4. Bild</p>	<p>Nun wird der Stromkreis geöffnet, als Folge baut sich das Magnetfeld der Spule ab (im Bild durch kleiner werdende Pole angedeutet). Als würde jemand einen Magnet nach rechts wegziehen.</p> <p>Im Aluminiumring wird somit ein Strom induziert, der diesem Abbau entgegenwirkt. Folglich kommt es zu einer magnetischen Anziehung, der Ring wird nach rechts ausgelenkt.</p>	

LÖSUNGEN Konzept selber nutzen

e)	1. Bild	Der Experimentator lenkt die Leiterschaukel aus – meist so, dass sie nun vom außerhalb des Magneten ist.
	2. Bild	Nach dem Loslassen der Leiterschaukel wird im Leiter ein sich aufbauendes Magnetfeld (durch das starre Hufeisen) registriert. Nach Lenz ist nun der Induktionsstrom im Leiter so gerichtet, dass er seiner Ursache (hier der Magnetfeldaufbau) entgegenwirkt. Es kommt zu einer magnetischen Abstoßung, die im Folgenden zu einer geringer werdenden Amplitude führt.
	3. Bild	Verlässt die Leiterschaukel den Bereich mit der höchsten Feldliniendichte, nimmt der Leiter einen Abbau des Magnetfeldes wahr. Nach Lenz ist der Induktionsstrom so gerichtet, dass er seiner Ursache (hier dem Abbau) entgegenwirkt. Es kommt zu einer magnetischen Anziehung, die im Folgenden zu einer abermaligen Verringerung der Amplitude führt.
		Diese Vorgänge wiederholen sich immer wieder, sodass man sagen kann, nicht nur mechanische Reibungseffekte sind für die immer geringer werdende Auslenkung verantwortlich. Es sind auch Induktionseffekte, die gemäß der Lenz'schen Regel ablaufen.

Neue Sichtweisen auf das Konzept

- a) Beim *Informationsmaterial* fährt ein Magnetwagen auf einer Leiterschleife zu.

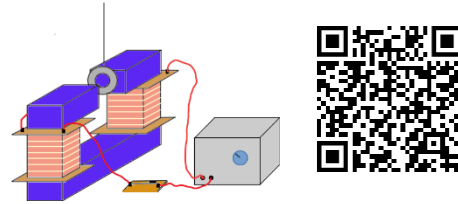
Annahme: Der Induktionsstrom sei beim Ein- und Ausfahren genau andersherum orientiert.

Erstelle eine Filmleiste dazu und begründe die Ungültigkeit der Annahme mithilfe der Energieerhaltung.

- b) Der QR-Code verweist auf ein Video⁴ zum

Waltenhofen'sche Pendelexperiment.

Erkläre die unterschiedlich starken Bremsvorgänge.



- c) Beim Leiterschaukel-Experiment (**Teil der 25 obligaten Experimente**) konnte beobachtet werden, dass die Leiterschaukel nach und nach abgebremst wurde – auch weil nach der Lenz'schen Regel die Bewegung gehemmt wurde.

Zeige nun, dass das im Einklang mit der Lorentzkraft steht, indem du die Lorentzkraft für die Vorhersage der Elektronenbewegung nutzt und die Auswirkung auf die Pendelbewegung beschreibst. Nutze eine Filmleiste.

- d) Erkläre, wie es beim Induktionskochfeld zur Wärmeentwicklung im Topf kommt. Recherchiere auch, warum beim Induktionsherd Töpfe und Pfannen mit Stahlboden geeigneter sind als z.B. Topfböden aus Aluminium.

- e) Beim Ergometer kann der Tretwiderstand durch eine sogenannte Induktionsbremse⁵ beeinflusst werden. Dazu verändert man die Stromstärke einer stromdurchflossenen Spule, welche sich direkt in der Nähe eines metallenen Schwungrades befindet. Erkläre dieses Prinzip und gib auch an, warum dieses Prinzip sehr genaue Einstellungen des Tretwiderstandes ermöglicht.

- f) Führe begründete Vor- und Nachteile des kontaktlosen Bremsens auf.

⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=7GA4-y2V-SM> [abgerufen am 20.5.2019]

⁵ vgl. <https://fitnessworld24.net/blog/magnetbremssystem-vs.-induktionsbremssystem/> [abgerufen am 2.5.2019]

LÖSUNGEN *Neue Sichtweisen auf das Konzept*

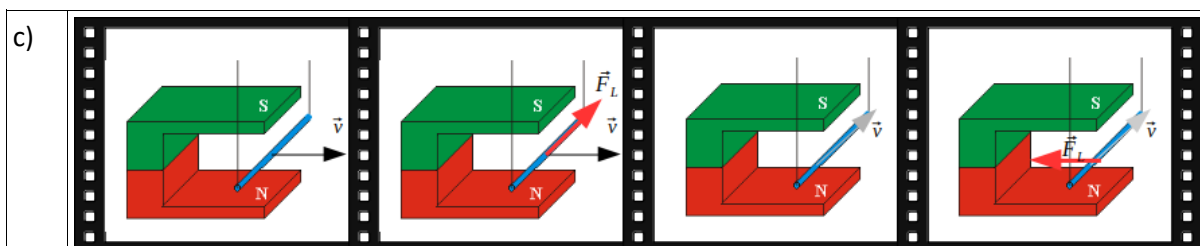
a)

1. Bild	Ein Wagen mit einem Dauermagneten fährt reibungsfrei mit konstantem Tempo auf eine Leiterschleife zu.
2. Bild	<p>In der Leiterschleife wird durch den äußeren Magnetfeldaufbau eine Spannung induziert.</p> <p>Annahme: Der dadurch hervorgerufene Induktionsstrom sei nun andersherum orientiert als im <i>Informationsmaterial</i>.</p> <p>Dann würde der Südpol der Leiterschleife den Nordpol des Wagens anziehen. Das Tempo des Wagens nimmt also zu.</p>
3. Bild	<p>In der Leiterschleife wird durch den äußeren Magnetfeldabbau eine Spannung induziert.</p> <p>Annahme: Der dadurch hervorgerufene Induktionsstrom sei nun andersherum orientiert als im <i>Informationsmaterial</i>.</p> <p>Dann würde der Südpol der Leiterschleife den Südpol des Wagens abstoßen. Das Tempo des Wagens nimmt somit erneut zu.</p>
4. Bild	Der Magnetwagen fährt mit höherem Tempo (s. Geschwindigkeitsvektor) als zu Beginn weiter.
Fazit:	<p>Energieerhaltung: Die kinetische Energie am Ende wäre also höher als am Anfang. Die mechanische Energie hat also zugenommen. Das steht im krassen Widerspruch zum Energieerhaltungssatz. Folglich muss die Annahme (Induktionsstrom sei andersherum orientiert) falsch sein.</p> <p>Ergebnis: Lenz muss mit seiner Regel richtig liegen, dass der Induktionsstrom immer so orientiert sein muss, dass die äußere Ursache gehemmt wird.</p>

LÖSUNGEN *Neue Sichtweisen auf das Konzept*

	Pendelkörper	Beobachtung/Erklärung
b)	Vollkreis	<p>Einschalten des Elektromagneten: Nach wenigen Schwingungen kommt das Pendel zum Stillstand (starke Bremswirkung).</p> <p>Die nach der Lenz'schen Regel hervorgerufenen Induktionsströme (=sehr viele Wirbelströme) sind in sich geschlossen und wirken der äußeren Ursache entgegen.</p>
	Geschlitzter Kreis	<p>Einschalten des Elektromagneten: Es dauert verhältnismäßig lange, bis das Pendel zum Stillstand kommt (sehr schwache Bremswirkung).</p> <p>Die Wirbelströme können sich hier deutlich schlechter ausbilden. Die kreisförmigen Ströme können sich nur im Kreisrand bilden, sind daher nur gering ausgeprägt. Folglich ist die Hemmung nur gering.</p>
	Rechteckige Platte	<p>Wie beim Vollkreis ist auch hier eine starke Bremswirkung zu beobachten.</p> <p>Denn hier können sich die Wirbelströme in der gesamten Platte gut ausbilden und damit die starke Hemmung hervorrufen.</p>
	Kammförmige Platte	<p>Wie beim geschlitzten Kreis ist auch hier eine schwache Bremswirkung zu beobachten.</p> <p>Denn die Wirbelströme können sich nur in den Kamm-Zähnen bilden und sind durch den geringen Platz nur schwach ausgeprägt. Folglich ist die Hemmung gering.</p>
	Drehbare Kreisscheibe	<p>Auch hier ist eine starke Hemmung zu beobachten, da die sich Wirbelströme gut ausprägen können und damit nach Lenz die Hemmung hervorrufen.</p> <p>Dreht sich die Kreisscheibe schneller, so muss nach dem Induktionsgesetz auch eine höhere Spannung induziert werden. Als Folge ergibt sich eine entsprechend stärkere Bremswirkung.</p>

LÖSUNGEN *Neue Sichtweisen auf das Konzept*



<p>1. Bild</p>	<p>Wir betrachten eine Leiterschaukel, die ausgelenkt wurde und nach rechts schwingt.</p> <p>Wie das Schwingen nach rechts beeinflusst wird, soll mit den folgenden Bildern analysiert werden, wobei in der Lösung die Wirkungen auf Elektronen betrachtet werden soll.</p>
<p>2. Bild</p>	<p>Mit der 3-Finger-Regel lässt die Lorentzkraft (rot gekennzeichnet) einzeichnen.</p>
<p>3. Bild</p>	<p>Die Lorentzkraft sorgt also dafür, dass sich die Elektronen in Richtung der Lorentzkraft bewegen (grauer Geschwindigkeitsvektor), also in die Papierebene hinein.</p>
<p>4. Bild</p>	<p>Die durch die Lorentzkraft hervorgerufene Bewegung der Elektronen (grauer Geschwindigkeitsvektor) in die Papierebene hinein bewirkt das Auftreten einer weiteren Lorentzkraft.</p> <p>Eine abermalige Anwendung mit der 3-Finger-Regel zeigt, dass diese Kraft nach links wirken muss. Folglich wird die ursprüngliche Pendelbewegung nach rechts (1. Bild) gehemmt. Genau wie Lenz dies beschrieb.</p>
<p>Fazit:</p>	<p>Die doppelte Anwendung der Lorentzkraft steht also im Einklang mit der Lenz'schen Regel. In beiden Fällen kann eine Hemmung der ursprünglichen Bewegung vorhergesagt und letztlich auch im Experiment beobachtet werden.</p>

LÖSUNGEN *Neue Sichtweisen auf das Konzept*

d)	<p>Wärmeentwicklung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Induktionsherd erzeugt sich ändernde Magnetfelder. • Nach dem Induktionsgesetz entstehen Wirbelströme im Topfboden. Diese erhitzen den Boden des Topfes. • In der Folge wird das Kochgut im Topf erwärmt. • Übrigens wird nun auch die Keramikplatte durch den heißen Topfboden erwärmt.
	<p>Stahlboden</p> <ul style="list-style-type: none"> • Stahl besteht zum großen Teil aus Eisen. Eisen ist ferromagnetisch. • Das durch die Feldspule des Induktionsherdes verursachte magnetische Wechselfeld dehnt sich gleichermaßen nach oben und unten aus. Die Ausdehnung nach unten ist aber nicht erwünscht, weil Verluste damit einhergehen. • Stellt man einen ferromagnetischen Gegenstand auf das Kochfeld, so verlaufen die Magnetfeldlinien der Feldspule vorrangig nach oben. Eine Verzerrung der Magnetfeldlinien nach oben ist also die Folge. Diesen gewünschten Effekt macht man sich zunutze, indem Töpfe und Pfannen mit Stahlboden beim Kochen mittels Induktionsherd verwendet werden. • Fazit: Ein Topf ohne Stahlboden kann also im Prinzip auch genutzt werden, nur ist der Wirkungsgrad deutlich geringer.
	<p>Vorteile:</p> <p>Man kann mit dem Induktionsherd Energie sparen (ca. 10% gegenüber dem herkömmlichen Herd).</p> <p>Die Erwärmung (Ankochzeit) ist deutlich kürzer. Es müssen nicht zuerst die Kochplatten und Heizwendeln erwärmt werden.</p> <p>Da die Keramikplatte nicht allzu heiß wird, brennt verschüttetes Kochgut nicht so stark ein.</p> <p>Der Induktionsherd reagiert auf Einstellungsänderungen ähnlich schnell wie ein Gasherd.</p>

LÖSUNGEN *Neue Sichtweisen auf das Konzept*

e)	<p>Prinzip:</p> <ul style="list-style-type: none">• Die stromdurchflossene Spule erzeugt ein Magnetfeld.• Da das Schwungrad aus Metall besteht, können dort Wirbelströme induziert werden.• Die Wirbelströme bewirken nach Lenz eine Hemmung, weil deren Magnetfelder dem äußeren Spulenmagnetfeld entgegenwirken.• Der Sportler nimmt einen Tretwiderstand wahr.
	<p>Sehr genaue Einstellung:</p> <ul style="list-style-type: none">• Der Sportler kann am Ergometer sehr genau einstellen, welchen Tretwiderstand er haben möchte, indem er das Magnetfeld der Spule verändert.• Dazu muss lediglich die Stromstärke in der stromdurchflossenen Spule justiert werden. Diese Justage kann sehr genau vorgenommen werden.

LÖSUNGEN *Neue Sichtweisen auf das Konzept*

f)	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none">• Elektrodynamische Bremsen sind verhältnismäßig leise, da dort zunächst keine mechanischen Reibungseffekte auftreten.• Da keine mechanische Reibung vorliegt, ist der Materialverschleiß deutlich geringer.• Elektrodynamische Bremsen sind bei hohen Geschwindigkeiten extrem effektiv, da dort die Bremswirkung entsprechend größer ist.• Man kann das Bremsen mit elektrodynamischen Bremsen auch für Energierückgewinnungen nutzen.
	<p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none">• Bei geringen Geschwindigkeiten ist die Bremswirkung auch geringer.• Starke Magnetfelder können für andere Systeme Störsignale sein.• Es entstehen möglicherweise sehr hohe Temperaturen, die eine dauerhafte Veränderung des Bremsmaterials (Schädigung) bewirken können.• Ein Magnetfeld muss mitgeführt oder vorhanden sein.

Sehr geehrte Kollegin, sehr geehrter Kollege,

Sie setzen gerade eine Lernaufgabe ein, die vom SINUS-Set „Entwicklung von Lernaufgaben“ erstellt wurde. Danke, dass Sie an der Erprobung dieser Lernaufgaben teilnehmen. Bitte geben Sie uns eine kurze Rückmeldung.

Gehen Sie bitte dazu die folgenden Punkte durch.

Sie können den Rückmeldebogen auch online ausfüllen. Nutzen Sie dazu bitte den angegebenen QR-Code oder den folgenden Link.

<https://app.edkimo.com/survey/lernaufgaben/ladmihon>



Danke schön, Ihr SINUS-Team

Akzeptanz		Trifft voll und ganz zu	Trifft eher zu	Trifft eher weniger zu	Trifft überhaupt nicht zu
A1	Die Lernaufgabe ergibt für mich Sinn.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A2	Die Lernaufgabe ist für mich intuitiv ansprechend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
A3	Andere Lehrkräfte sind zufrieden mit der Lernaufgabe	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Akzeptieren Sie die Lern-Aufgabe? Erläutern Sie bitte.					
<hr/>					

Übernahmebereitschaft		Trifft voll und ganz zu	Trifft eher zu	Trifft eher weniger zu	Trifft überhaupt nicht zu
Ü1	Bei der Bearbeitung der Aufgabe sind meine Schülerinnen und Schüler aktiver im Unterricht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ü2	Bei der Bearbeitung der Aufgabe finden meine Schülerinnen und Schüler den Unterricht interessanter.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ü3	Bei der Bearbeitung der Aufgabe können meine Schülerinnen und Schüler dem Unterricht besser folgen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Würden Sie diese Aufgabe wieder einsetzen wollen? Erläutern Sie bitte.					
<hr/>					

Angemessenheit		Trifft voll und ganz zu	Trifft eher zu	Trifft eher weniger zu	Trifft überhaupt nicht zu
An1	Die Aufgabe thematisiert relevante Inhalte.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

An2	Die Aufgabe weist ein klares Ziel/ weist klare Ziele auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
An3	Die Aufgabe weist Bezüge zu meinem Unterricht auf.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Finden Sie die Aufgabe angemessen? Erläutern Sie bitte.					
<hr/>					

Machbarkeit		Trifft voll und ganz zu	Trifft eher zu	Trifft eher weniger zu	Trifft überhau pt nicht zu
M1	Die Aufgabe kann so, wie sie ist, eingesetzt werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M2	Die notwendigen Materialien zum Einsatz dieser Aufgabe sind vorhanden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
M3	Die Schülerinnen und Schüler kommen mit der Aufgabe leicht zurecht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Finden Sie die Aufgabe machbar? Erläutern Sie bitte.					
<hr/>					

Wiedergabetreue	
Haben Sie die Aufgabe im Original eingesetzt? Erläutern Sie bitte.	
<hr/>	
<hr/>	
<hr/>	

Raum für weitere Anmerkungen: