

Elektromagnetische Induktion ist das physikalische Grundprinzip, auf dem fast die gesamte Stromproduktion durch den Menschen beruht (Ausnahmen: Photovoltaik, Brennstoffzelle, Batterie). Nachdem Oersted 1820 gezeigt hatte, dass Strom eine magnetische Kraftwirkung hervorruft (Elektrizität  $\rightarrow$  Magnetismus), suchte Faraday in den folgenden Jahren einen Weg, diesen Prozess umzukehren (Magnetismus  $\rightarrow$  Elektrizität). Das Grundexperiment hierzu haben wir bereits in der 9. Jgst. kennengelernt.

Bereits in der Mittelstufe konnten wir diesen Effekt mit Hilfe der Lorentzkraft erklären. Mit dem neuen Wissen (Kap. 2.3) über die Größe dieser Kraft ist nun auch eine quantitative Analyse möglich.

**Welche Größen könnten die Stärke der Induktionsspannung in welcher Weise beeinflussen?**

**Wir betrachten zunächst nur ein einziges Elektron, das sich im Leiter befindet, während dieser nach rechts gezogen wird. Ermittle mit Hilfe der UVW-Regel die Richtung der Lorentzkraft!**

**Wie verhält sich dieses Elektron also? Viele Elektronen werden es dem von uns betrachteten gleich tun. Trage in die Zeichnung die sich ergebende Polung ein!**

**Warum findet dieser Vorgang nicht beliebig lang statt? Stelle den sich ergebenden Gleichgewichtszustand mit einer Kräftegleichung dar und leite daraus eine Formel für die Induktionsspannung ab! (Lösung)**

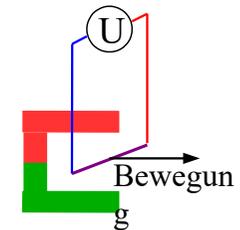
Eine Animation bietet Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Elektromagnetische Induktion – Induktion durch Bewegung Grundwissen.**

## 4. Elektromagnetische Induktion

### 4.1 Induktion im bewegten Leiter (Typ 1)

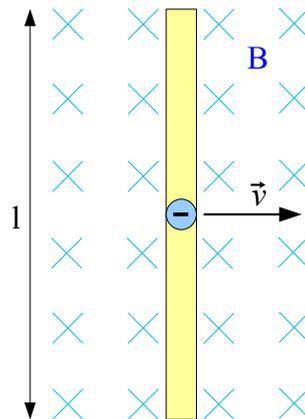
#### Grundexperiment

**Wird ein Leiter innerhalb eines Magnetfeldes bewegt, so entsteht an den Leiterenden eine elektrische Spannung (Induktionsspannung), verbindet man die Leiterenden, so ergibt sich ein elektrischer Strom (Induktionsstrom).** Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Richtung des Leiters, die Bewegungsrichtung und die Richtung des Magnetfeldes **senkrecht aufeinander stehen** oder zumindest entsprechende Teilkomponenten besitzen.



#### Erklärung und quantitative Analyse des Grundexperiments

- 
- 
- 



Für quantitative Experimente führt man die Zuleitungen zum Drahtstück in der Regel innerhalb des Magnetfeldes, eine Leiterschleife entsteht (beim Leiterschaukelversuch befinden sich die Zuleitungen ja außerhalb des Hufeisens, allerdings bekommen sie auch etwas von den Randfeldern des Magneten ab).

**Stelle in der oberen Zeichnung die Lorentzkräfte in allen Abschnitten der Leiterschleife durch Kraftpfeile dar! Was bewirken sie in den Drahtstücken, die längs zur Bewegungsrichtung verlaufen? Einen vergleichbaren Effekt haben wir schon kennengelernt. (Lösung)**

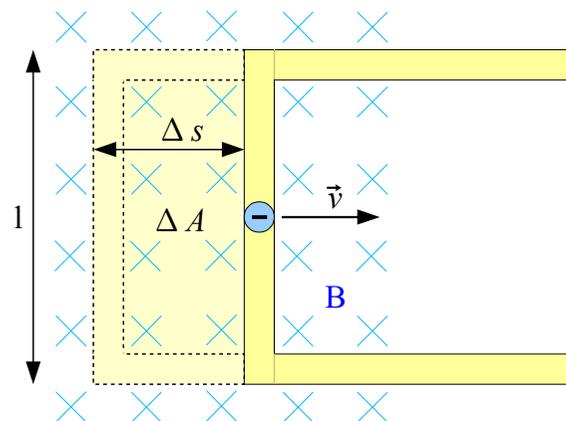
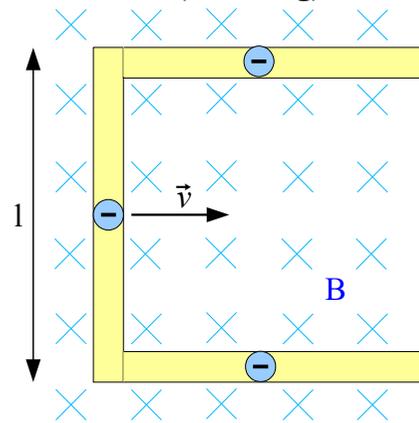
Im zweiten Bild ist die Leiterschleife zu einem späteren Zeitpunkt dargestellt. Diese Zeichnung dient zur Herleitung einer allgemeineren Formel, die neben dem Bild durchgeführt ist. **Arbeite die Herleitung durch und erkläre sie Deinem Partner! A ist dabei die sogenannte „wirksame Fläche“, das ist der Bereich innerhalb der Leiterschleife, der vom Magnetfeld durchsetzt wird.  $\Delta A$  ist die Änderung dieser Fläche (helbgelb hinterlegt). Formuliere die erste Formel in Worten!**

Hinweis zur zweiten Formel: Verwendet man statt einer Leiterschleife eine Spule mit N Wicklungen (das sind dann N Leiterschleifen hintereinandergeschaltet), so ist die induzierte Spannung natürlich N-mal so groß.

**Selbst-Check:**

- **Grundexperiment Leiterschaukel**
- **Analyse eines bewegten Leiterstückes**
- **Flächenformel (Typ 1), „wirksame Fläche“**

**Leiterschleife (U-förmig):**



$$U_i = B \cdot l \cdot v = B \cdot l \cdot \frac{\Delta s}{\Delta t} = B \cdot \frac{l \cdot \Delta s}{\Delta t}$$

Leiterschleife:

$$U_i = B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Spule mit N Windungen:

$$U_i = N \cdot B \cdot \frac{\Delta A}{\Delta t}$$

Aufgabe S.138/6 ist eine einfache Rechenaufgabe, für S.138/7 musst Du schon Dein Wissen aus der 10. Jgst. reaktivieren. Für den Großteil der Aufgaben zum Themengebiet (auch auf Leifiphysik) fehlen noch die Informationen der weiteren Blätter des Kapitels.

Betrachtet man die einzelnen Wicklungen einer Spule, so sind diese fast-geschlossene Leiterschleifen (siehe Zeichnung), die in der Spule alle aneinandergehängt werden. Solche O-förmigen Leiterschleifen zeigen am Rand bzw. ganz innerhalb eines homogenen Magnetfeldes vollkommen unterschiedliches Verhalten hinsichtlich der Spannung, die an den Enden der Leiterschleife gemessen werden kann.

Zeichne in den beiden oberen Bildern wieder in allen Leiterstücken die Lorentzkräfte ein (beachte jeweils die Ausdehnung des Feldes)! Markiere auch die sich daraus ergebenden Ladungstrennungen sowie die resultierenden elektrostatischen Kräfte im Gleichgewichtszustand!

Lässt sich an den Leiterenden eine Spannung messen? (Lösung)

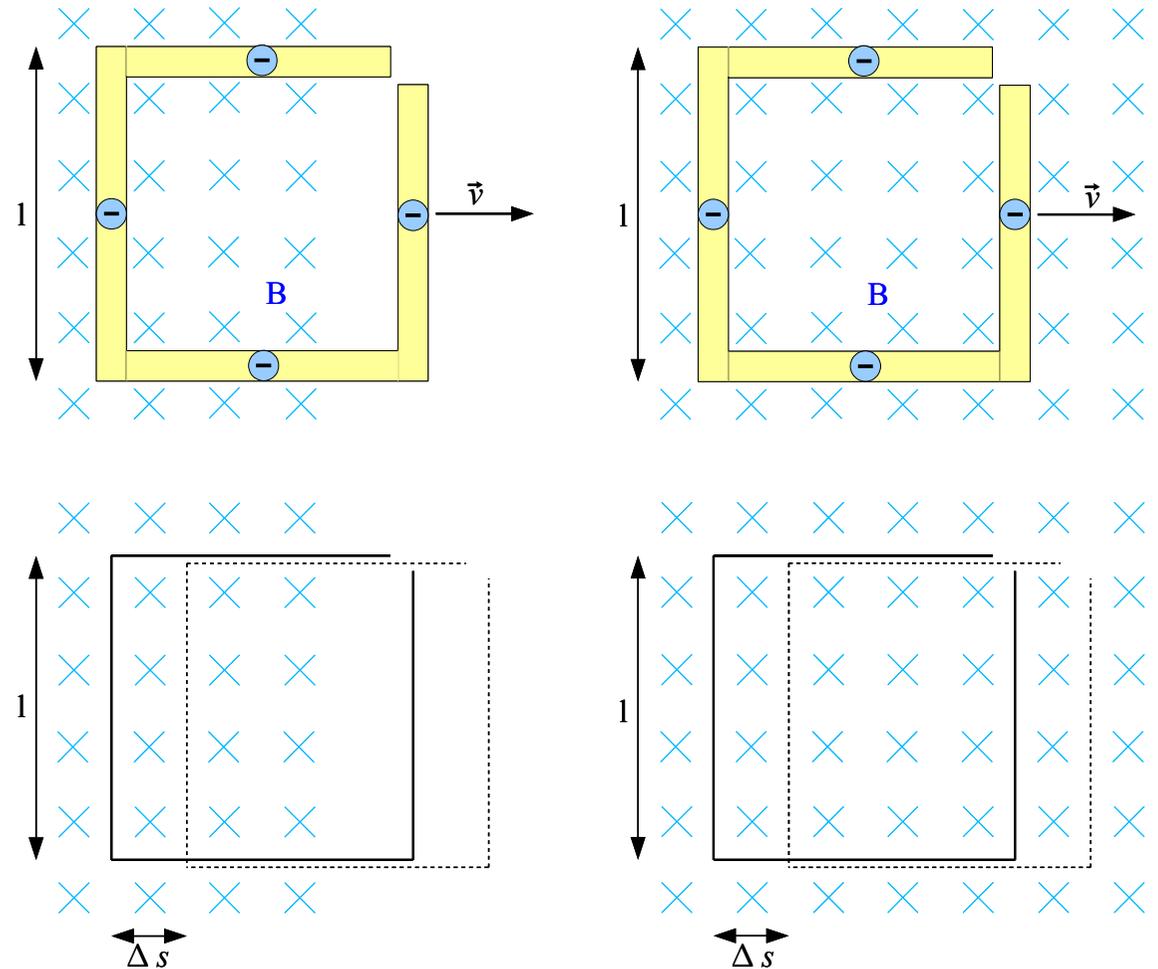
In den unteren Bildern ist die Bewegung der Leiterschleifen nur noch schematisch dargestellt. Ändert sich während der Bewegung die „wirksame Fläche“? Stelle gegebenenfalls die Änderung der „wirksamen Fläche“ durch Schraffur dar!

Auch hierfür gibt's eine Animation auf Leifiphysik unter Teilgebiet Elektrizitätslehre – Elektromagnetische Induktion – Induktion durch Bewegung Grundwissen.

Formuliere einen Merksatz über die Induktionsspannung bei Bewegung fast-geschlossener Leiterschleifen am Rand und innerhalb homogener Felder.

(Lösung)

### Leiterschleife (O-förmig) bzw. Leiterraahmen



Merke:

Vielfach findet man in Aufgaben eine geschlossene Leiterschleife, dabei kann die Verbindung der vorher noch offenen Leiterenden sowohl außerhalb als auch innerhalb des Feldes erfolgen. In jedem Fall ist dann Stromfluss möglich, sofern eine Induktionsspannung auftritt. Die Berechnung dieses Induktionsstromes erfolgt ganz einfach über das ohmsche Gesetz, dabei kann der im Bild dargestellte Widerstand  $R$  durch ein Lämpchen, einen Festwiderstand oder einfach durch die Beschaffenheit der Schleife an sich (Leitungswiderstand) hervorgerufen werden.

**Berechne den Induktionsstrom für das linke Bild, falls sich der 6,0 cm hohe Rahmen (Leitungswiderstand 0,10 Ohm) in einem Feld der Flussdichte 300 mT mit 0,40 m/s bewegt. Inwiefern kann die Berechnung für das rechte Bild nicht in gleicher Weise erfolgen?**

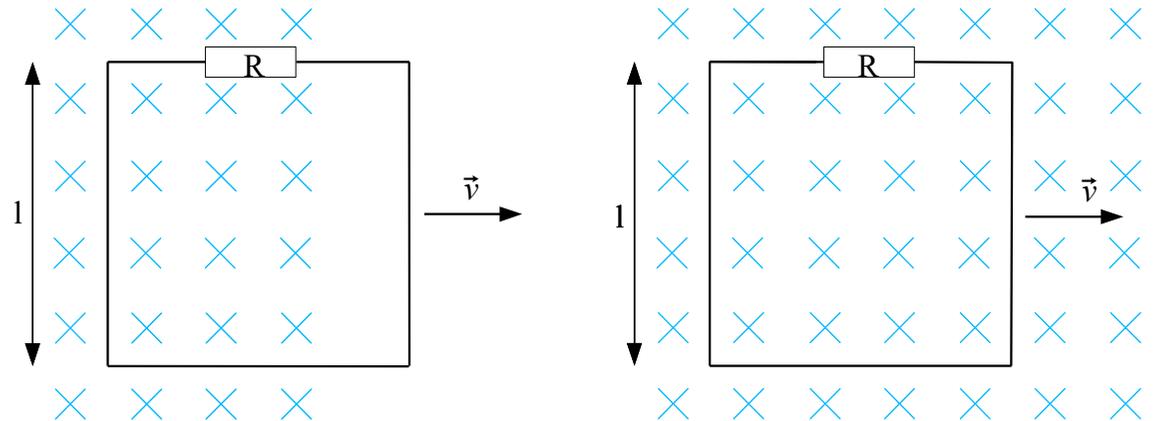
**Wenn man die Bewegung (im linken Bild) durchführt, bemerkt man einen deutlichen Widerstand gegen diese Bewegung. Welche Kraft spürt man hier und wie kommt sie zustande (ergänze das Bild)? Berechne den Betrag dieser Kraft!  
Mit welcher Regel beschreiben wir dieses Phänomen?**

**(Lösung)**

**Selbst-Check:**

- **Unterschied: Bewegung innerhalb und am Rand des homogenen Magnetfeldes**
- **Induktionsstrom**
- **Regel von Lenz**

**Geschlossene Leiterschleife:**



Jetzt gehen schon zahlreiche Aufgaben auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Elektromagnetische Induktion – Magnetischer Fluss und Induktionsgesetz Aufgaben**, z.B. die aus der Archäologie. Dieser Themenbereich wird aber auch in den weiteren Kapiteln des Skriptes nach und nach noch ausgebaut.

**Ein homogenes Magnetfeld der Flussdichte  $B = 0,80 \text{ T}$  steht senkrecht zur Zeichenebene und ist dort auf ein quadratisches Gebiet der Kantenlänge  $9,0 \text{ cm}$  begrenzt. Durch dieses wird ein rechteckiger Drahtrahmen mit dem Widerstand  $R = 4,0 \ \Omega$  (Maße in Skizze:  $s = 3,0 \text{ cm}$ ) mit der konstanten Geschwindigkeit  $v = 1,5 \text{ cm/s}$  von links nach rechts gezogen. (Lösung)**

Die Zeitmessung beginnt, wenn der rechte Rand des Drahtrahmens den Magnetfeldbereich berührt. Nach der Zeitspanne  $12 \text{ s}$  wird der Drahtrahmen in einer vernachlässigbar kleinen Zeit abgebremst, erneut beschleunigt und wiederum  $12 \text{ s}$  lang mit  $v = 1,5 \text{ cm/s}$  in die entgegengesetzte Richtung bewegt.

a) Berechnen Sie die verschiedenen Induktionsspannungen, die im Zeitintervall  $0 \leq t \leq 24 \text{ s}$  am Widerstand  $R$  auftreten, und fertigen Sie ein  $t$ - $U$ -Diagramm für diesen Zeitraum an. (12 BE)

b) Berechnen Sie die Beträge der Kräfte, die durch die Induktion während dieses Zeitraums auf den Drahtrahmen wirken, und geben Sie deren Richtungen mit Begründung an. (7 BE)

Nun wird die Anordnung so aufgestellt, dass der Drahtrahmen mit dem Widerstand frei durch das Magnetfeld fallen kann.

c) Erläutern Sie qualitativ, wie der Fall des Drahtrahmens durch das Magnetfeld beeinflusst wird. Die Magnetfeldlinien sollen dabei die Fläche des Drahtrahmens senkrecht durchsetzen.

Welchen Einfluss auf die Bewegung hat eine Verdoppelung des Widerstandswertes von  $R$ ? (7 BE)

*Abituraufgabe Gk 2004, Abbn. entnommen aus leifiphysik.de.  
Eine fast identische Aufgabe findest Du im Buch S. 142/35.*

