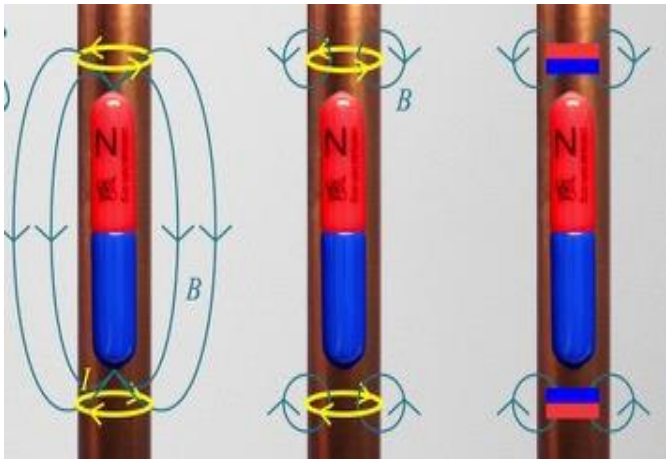




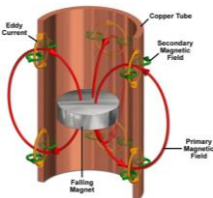
# Wirbelstrombremse

Wie bremst ein ICE oder Elektroauto?



# Was Du erhältst

- 1 Kupferrohr,  $\varnothing$  22/20mm, l 83cm
- 1 Kunststoffrohr  $\varnothing$  25/20mm, l 83cm
- 1 Neodym Kugelmagnet  $\varnothing$  19mm
- 1 Stahlkugel  $\varnothing$  19mm
- 1 Kunststoffrohr  
zum Aufbewahren des Kupferrohrs
- 1 Anleitung



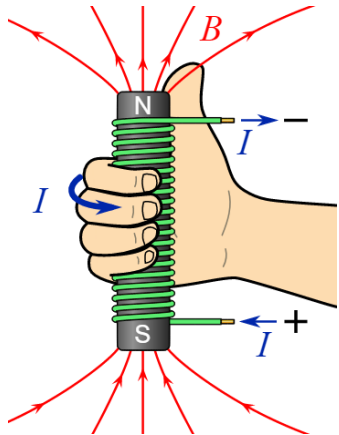
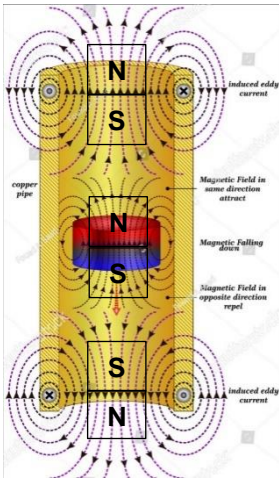
# Wissenswertes

## Wirbelstrom:

Wenn sich ein elektrisch leitender Gegenstand in einem Magnetfeld bewegt, oder ein Magnet in einem elektrischen Leiter, dann werden in ihm Ströme induziert (**Induktionsspannung, Induktionsstrom**). Handelt es sich bei dem Leiter um einen langen Draht oder eine Spule, dann ist die Richtung des induzierten Stromes eindeutig vorgegeben.

In ausgedehnten elektrischen Leitern wie einem Kupferrohr, unterliegt die Stromrichtung turbulenten Veränderungen. Diese nicht gerichteten Ströme bezeichnet man als **Wirbelstrom**.

Fällt ein Dauermagnet geradlinig durch ein senkrecht zu ihr verlaufenden elektrischen Leiter (z.B. Kupferrohr), induziert dieser im Leiter Wirbelströme, die ihrerseits wiederum zwei entgegengesetzte Magnetfelder erzeugen, die den Magneten abbremsen (**Wirbelstrombremse**).



## Lenz'sche Regel:

*Emil Lenz* (1804-1865) entdeckte 1833 bei seinen Untersuchungen zum elektrischen Strom und zu der von *Michael Faraday* (1791-1867) erforschten elektromagnetischen Induktion, dass die Richtung des Induktionsstromes nicht zufällig ist. Sie steht vielmehr in definiertem Zusammenhang mit der jeweiligen Ursache für das Entstehen einer Induktionsspannung. Lenz fasste seine Erkenntnisse in einem Gesetz zusammen, das folgendermaßen lautet:

**Der Induktionsstrom ist stets so gerichtet, dass er der Ursache seiner Entstehung entgegenwirkt.**

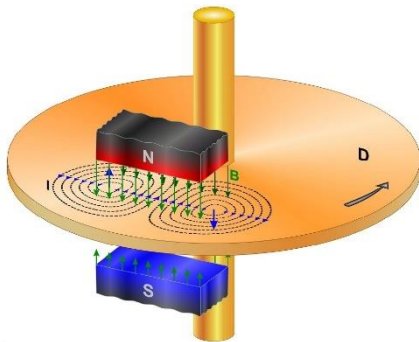
In unserem Fall wirkt das durch den Induktionsstrom entstehende lokale Magnetfeld im Kupferrohr, jenem des fallenden Dauermagneten entgegen.

## Wirbelstrombremse

Im Gegensatz zu mechanischen Bremsen, die auf Reibung und kinetischer Energie basieren, sind Wirbelstrombremsen auf Elektromagnetismus angewiesen, um die Bewegung von Objekten zu verzögern.

Nach dem Lenz'schen Gesetz erzeugt ein Wirbelstrom ein Magnetfeld, das dem Magnetfeld, das ihn erzeugt hat, entgegengesetzt ist, und daher sind Wirbelströme eine umgekehrte Reaktion auf das Magnetfeld der Quelle. Als moderne Technologie hat die Wirbelstrombremsung gegenüber mechanischen Bremsen zahlreiche Vorteile. Es ist ideal für viele Arten von Maschinen, da kein physischer Kontakt zwischen den Komponenten besteht, was Wirbelstrombremsen sehr wartungsarm macht. Die physikalischen und wirtschaftlichen Vorteile von Wirbelstrombremsen haben sie zu einer beliebten Option bei Maschinenbauingenieuren gemacht.

In der Grundkonstruktion einer Wirbelstrombremse, dreht sich eine leitende Metallscheibe senkrecht durch ein Magnetfeld, wo sie Wirbelströme induziert. Anstelle von Permanentmagneten werden üblicherweise Elektromagnete verwendet, da die variable Leistung des Magnetfelds auch eine variable Bremswirkung bewirkt. Das Hauptproblem einer Wirbelstrombremse ist, dass sie kein Haltemoment bietet, d.h. bei langsamer Drehzahl die Bremswirkung gegen Null strebt. Daher werden sie häufig in Verbindung mit mechanischen Standardbremsen verwendet.



## Anwendungen:

**Trainingsgeräte:** Eine typischste Anwendung von Wirbelstrombremsen, findet man in Fitnessgeräte. Die modernen Trainingsgeräte verwenden diese wartungsarmen Bremsen, um den Widerstand zu variieren und potenziell schädliche abrupte Geschwindigkeitsveränderungen zu vermeiden. Das Ergebnis ist ein sichereres und angenehmeres Trainingserlebnis.

**Elektrowerkzeuge und Industrieanlagen:** Eine industrielle Anwendung ist die Notabschaltung von Industrieanlagen und Elektrowerkzeugen. Wenn sie ausgelöst werden, können Wirbelstrombremsen eine leistungsstarke Maschine sicher und schnell zum Stillstand bringen.

Weitere Anwendungen sind **Achterbahnen** in Vergnügungsparks, **Hochgeschwindigkeitszüge** und natürlich auch **Elektroautos**. Hier wird die Bremsenergie oft rekuperiert und als elektrische Energie direkt ins Stromnetz gespiesen oder in einer Batterie gespeichert.

# Weitere wichtige Zusammenhänge

## Fallgeschwindigkeit eines Körpers, freier Fall:

Der Luftwiderstand wird dabei vernachlässigt

$$t = \sqrt{\frac{2s}{g}} \quad t = \text{Zeit, } s = \text{Strecke, } g = \text{Erdbeschleunigung}$$

## Bremskraft des Wirbelstroms:

$$F = \frac{b^2 B^2 v}{R}$$

F=Bremskraft, v=Geschwindigkeit, B=Feldstärke, b=Feldbreite, R=Widerstand

- Es ist ersichtlich, dass die Bremskraft F mit zunehmendem elektrischen Widerstand R sinkt, d.h., ein Kupferrohr mit einem kleinen elektrischen Widerstand (guter Leiter), erzeugt eine höhere Bremskraft als ein Alurohr.
- Ein Kunststoffrohr mit einem sehr hohen Widerstand (Isolator), sinkt die Bremskraft gegen Null, also freier Fall.
- Ebenfalls ableitbar aus obigen Formeln ist, wenn die Feldstärke  $B = 0$  ist, dann gibt es auch keine Bremswirkung. Bei einer nicht magnetisierte Stahlkugel ist  $B=0$ , d.h. auch hier freier Fall. Ein starker Dauermagnet erhöht die Bremskraft.
- Mit zunehmender Geschwindigkeit nimmt die Bremskraft ebenfalls zu.

# Versuche

1. Wir lassen die Stahlkugel und die Magnetkugel durch das Kunststoffrohr fallen. Da der elektrische Widerstand  $R$  sehr hoch ist, ist die Bremskraft praktisch Null, d.h. freier Fall.

Anhand der Formel für den freien Fall, ergibt sich für ein Rohr der Länge  $0.83\text{m}$  eine theoretische Fallzeit von  $0.41\text{ s}$ .

Der Versuch sollte die Annahme bestätigen.

2. Wir lassen die nicht magnetische Stahlkugel durch das senkrecht gehaltene Kupferrohr fallen. Gemäss der theoretischen Betrachtung ist die Feldstärke der Stahlkugel gleich Null und damit ist die Bremskraft ebenfalls Null, d.h. freier Fall wie im Versuch 1.

3. Im dritten Versuch lassen wir die Neodym Magnetkugel durch das Kupferrohr fallen. Da wir die Feldstärke  $B$  und die Feldbreite  $b$  der Magnetkugel und den elektrischen Widerstand des Kupferrohrs nicht kennen, können wir nur einen empirischen Versuch machen. Die Fallzeit dürfte bei ca.  $10\text{s}$  liegen, was mehr als dem 20-fachen des freien Falls entspricht.

## Tipp

Bevor Sie im Unterricht auf das Thema eingehen, geben Sie einem Schüler die Stahlkugel und lassen ihn den Falltest im Kunststoff- und Cu-Rohr machen. Mit dem Resultat dürfte niemand überrascht sein.

Machen Sie die Schüler glauben, dass wenn man das Rohr richtig fest in der Hand hält oder es vorher über die ganze Länge streichelt oder sich fest konzentriert, dass man die Fallgeschwindigkeit beeinflussen und die Physik überlisten kann. Und siehe da, es funktioniert (da Sie die Magnetkugel verwenden). Es wird ein Raunen durch die Reihen der Schüler gehen.

Lassen Sie den ersten Schüler das Experiment wiederholen in dem Sie ihm (unbemerkt) die Magnetkugel geben. Er soll sich ebenfalls konzentrieren. Das Resultat wird ihn erfreuen. Lassen Sie nun die Klasse rätseln, was sie hier gerade beobachten konnten.

## Video-Links



Lenz'sche Regel sehr gut erklärt



Metallring und Magnetring über Kupfer- und Kunststoffrohr