

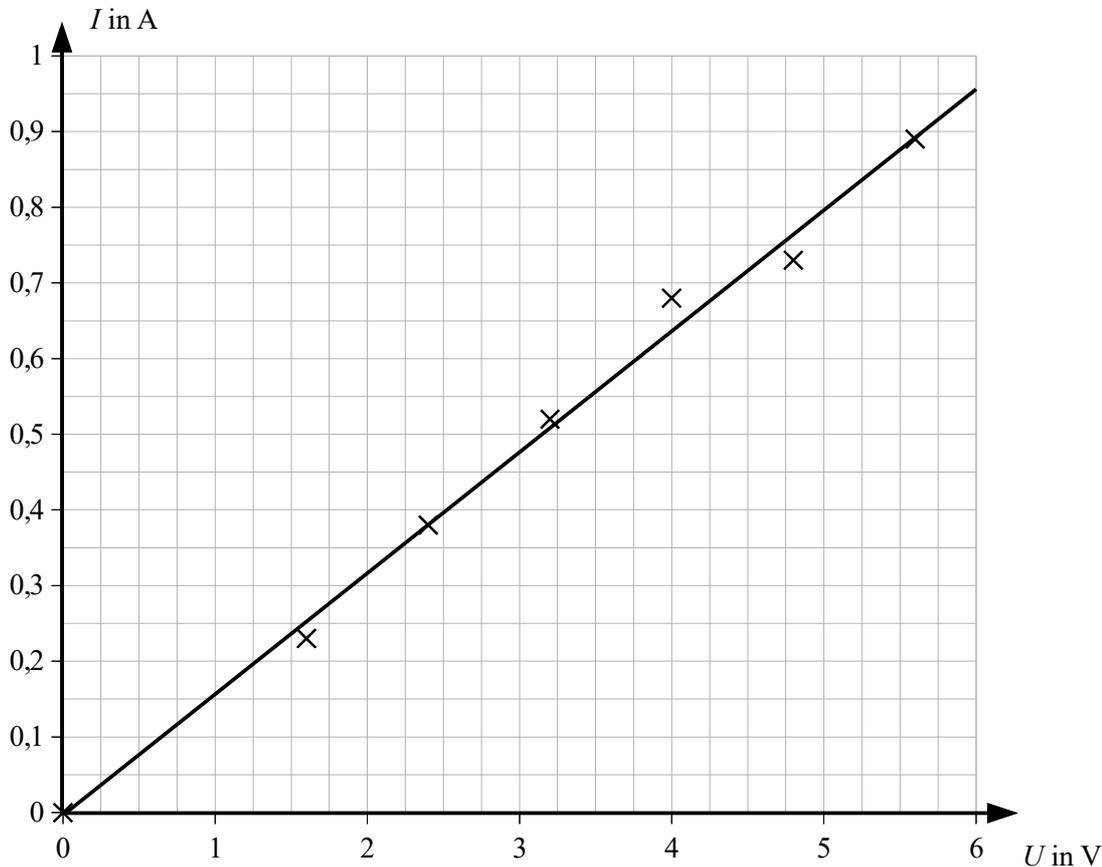
Musterlösung: „Auswertung einer Messreihe“

Aufgabe 1: Kupferlegierung

a) Beschreibung: Je größer die Spannung U ist, desto größer ist auch die Stromstärke I im Manganindraht.

Quantitative Vermutung: Die Stromstärke I ist proportional zur Spannung U ($I \sim U$).

b1) Graphische Darstellung der Messwerte:



Versuchsergebnis: Die Stromstärke I ist proportional zur angelegten Spannung U , da die Messwerte näherungsweise auf einer Ursprungsgeraden liegen. Die Vermutung ist korrekt.

[Anmerkungen zum Zeichnen von Diagrammen: **Welche Größe wird auf der x-Achse aufgetragen?**

Typische Aufgaben lauten: Zeichne ein x-y-Diagramm (ein $y(x)$ -Diagramm). Stelle y in Abhängigkeit von x graphisch dar. Laut Aufgabe soll ein U - I -Diagramm gezeichnet werden. Der Vergleich mit der ersten Formulierung zeigt: U gehört auf die x-Achse.

Wie groß muss das Diagramm sein?

Das Diagramm sollte möglichst quadratisch sein. Der äußere Messpunkt sollte in x - und y -Richtung mindestens 8 cm vom Ursprung des Koordinatensystems entfernt sein. $U_{\max} = 5,6$ V. 5,6 cm sind zu wenig, also doppeln und für 1 Volt 2 cm nehmen (siehe Abbildung). $I_{\max} = 0,89$ A. Wenn man für 0,1 Ampere 1 cm verwendet, so muss die y -Achse 9 cm hoch sein.

Wie beschriftet man die Achsen?

Zahlenwerte werden in gleichen Abständen angegeben. Keine „krummen Werte“ angeben. Insbesondere ist es unschön an der Achse die Messwerte anzugeben (0,23; 0,38; ...). Pro Achse sollten mindestens drei Zahlenwerte angegeben werden. Der Koordinatenursprung wird mit (0, 0) bezeichnet.]

b2) Rechnerische Überprüfung:

U in V	0	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6
I in A	0	0,23	0,38	0,52	0,68	0,73	0,89
$\frac{I}{U}$ in $\frac{A}{V}$	-	0,14	0,16	0,16	0,17	0,15	0,16

Versuchsergebnis: Die Stromstärke I ist proportional zur angelegten Spannung U , da die Quotienten der Messwerte näherungsweise konstant sind. Die Vermutung ist korrekt.

[Anmerkung: Zeilenüberschrift $\frac{I}{U}$ in $\frac{A}{V}$. Division durch Null ist nicht erlaubt. Daher fehlt der erste Quotient.

Die Quotienten können als näherungsweise konstant angesehen werden, wenn Sie nicht in einer Richtung ansteigen.

Wenn in der letzten Zeile die Quotienten - 0,14 0,15 0,16 0,16 0,16 0,17 in dieser Reihenfolge auftreten würden, so könnte man nicht von einer Proportionalität zwischen Stromstärke und Spannung ausgehen.

In der dritten Zeile könnte man auch die Quotienten $\frac{U}{I}$ in $\frac{V}{A}$ berechnen. Man erhält in diesem Fall die Quotienten

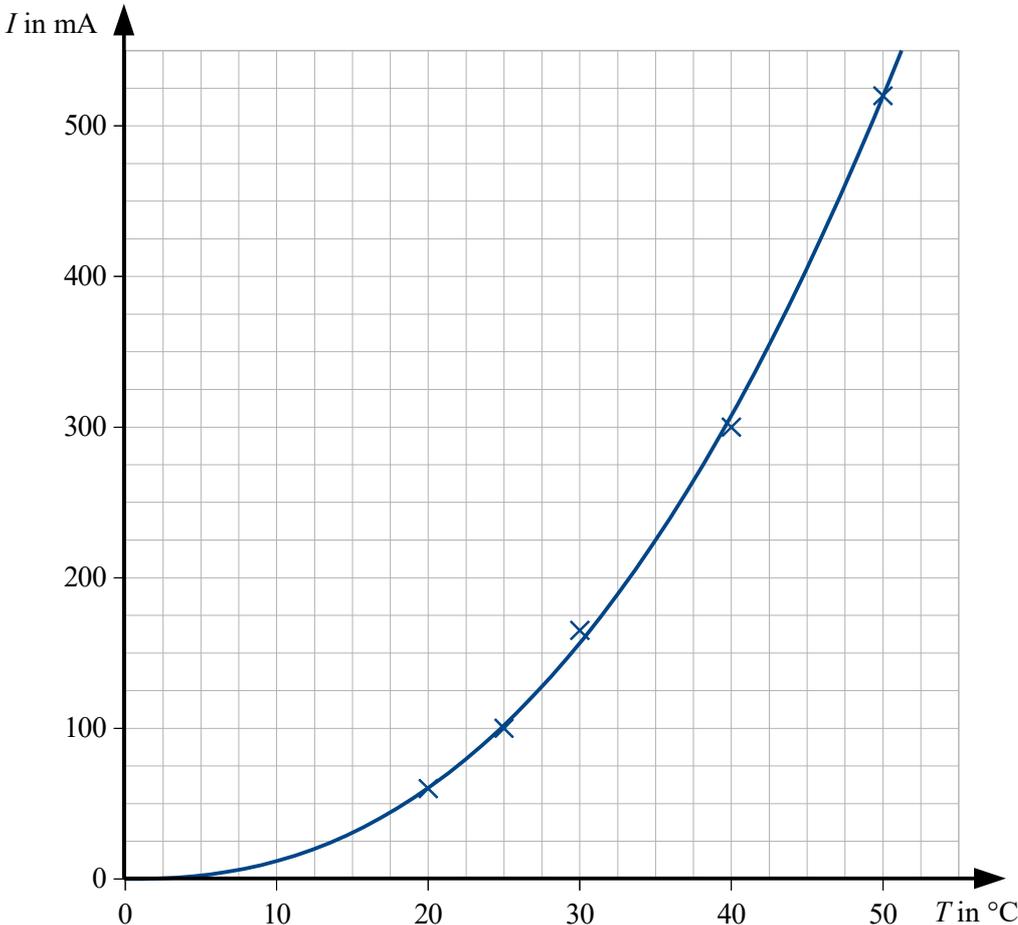
7,0 6,3 6,2 5,9 6,6 6,3, die ebenfalls näherungsweise konstant sind.]

Aufgabe 2: Temperaturabhängigkeit der Stromstärke

a) Beschreibung: Je höher die Temperatur T ist, desto größer ist die Stromstärke I .

Quantitative Vermutung: Die Stromstärke I ist proportional zur Temperatur T ($I \sim T$).

b1) Graphische Darstellung:



[Anmerkung:

$T_{\max} = 50 \text{ °C}$; $I_{\max} = 520 \text{ mA}$.

Da dieser Punkt mindestens 8 cm in x- und y-Richtung von (0, 0) entfernt sein soll, wählt man den Maßstab 1 cm

entspricht 5 °C ,

beziehungsweise

1 cm entspricht 50 mA.]

Prüfung der Vermutung: Die Stromstärke I ist nicht proportional zur Temperatur T , da die Messwerte nicht auf einer Ursprungsgeraden liegen.

b2) rechnerische Überprüfung:

T in °C	20	25	30	40	50
I in mA	60	100	165	300	520
$\frac{I}{T}$ in $\frac{\text{mA}}{^\circ\text{C}}$	3,0	4,0	5,5	7,5	10,4

Versuchsergebnis: Die Stromstärke I ist nicht proportional zur Temperatur T , da die Quotienten nicht konstant sind, sondern mit steigender Temperatur zunehmen.

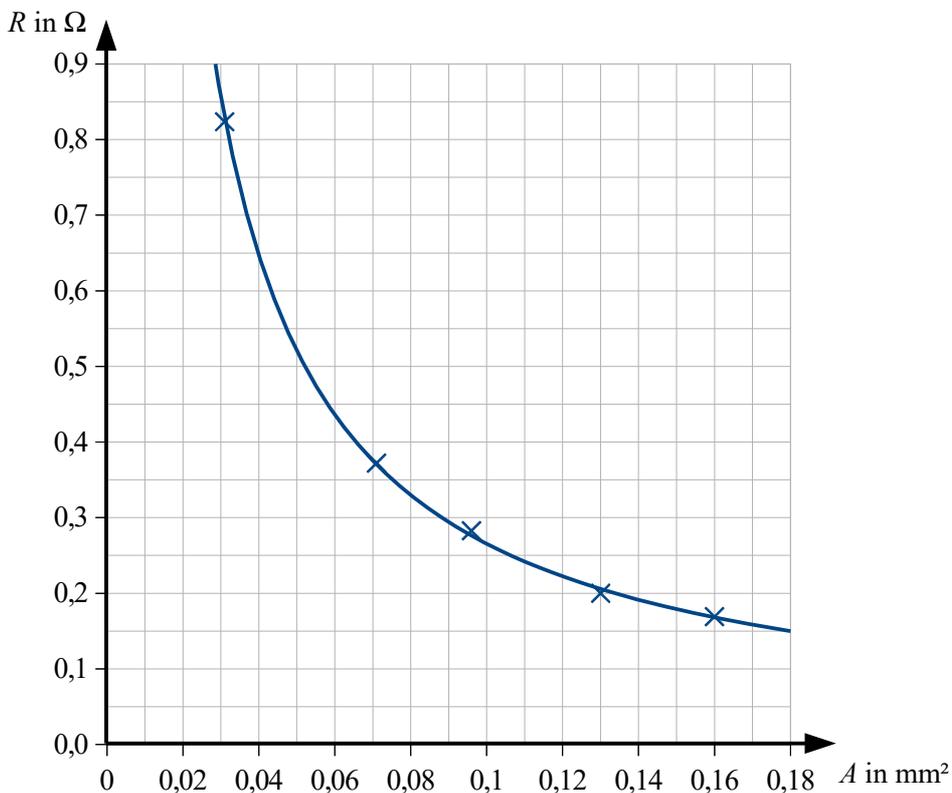
[Anmerkung: Die Stromstärke ist auch nicht antiproportional zur Stromstärke. Sonst müsste mit steigender Temperatur die Stromstärke abnehmen.]

Aufgabe 3: Widerstand und Querschnittsfläche

a) Beschreibung: Mit wachsender Querschnittsfläche A sinkt der Widerstand R .

Quantitative Vermutung: Der Widerstand R ist antiproportional zur Querschnittsfläche A ($R \sim \frac{1}{A}$).

b1) Graphische Darstellung:



Prüfung der Vermutung: Der Widerstand R ist antiproportional zur Querschnittsfläche A des Drahts, da die Messwerte auf einer Hyperbel liegen.

b2) rechnerische Prüfung der Vermutung: Zwei Größen sind antiproportional zueinander, wenn die Produkte der Messwerte konstant sind.

A in mm^2	0,031	0,071	0,096	0,13	0,16
R in Ω	0,82	0,37	0,28	0,20	0,17
$R \cdot A$ in $\Omega \cdot \text{mm}^2$	0,026	0,026	0,027	0,026	0,027

Versuchsergebnis: Der Widerstand R ist antiproportional zur Querschnittsfläche A , da die Produkte der Messwerte näherungsweise konstant sind. Die quantitative Vermutung ist korrekt.

Musterlösung „Lorentzkraft auf Stromleiter im Magnetfeld“

Im Folgenden findest du Lösungen schöner Übungsaufgaben aus dem Lehrbuch (Dorn-Bader).

S. 280 Aufgabe 1,2; S. 298 Aufgabe 16

Aufgabe 1: (S. 280)

In Versuch 2 gilt (ohne Änderungen):

Die Richtung der Lorentzkraft auf einen stromdurchflossenen Leiter erhält man durch Anwendung der 3-Finger-Regel der linken Hand.

Dabei (S.280 V2) zeigt der Daumen, der die Richtung der Elektronenbewegung angibt, nach oben.

Der Zeigefinger, der die Richtung der magnetischen Feldlinien angibt, zeigt in die Papierebene hinein (vom Nord- zum Südpol). Der Mittelfinger (Lorentzkraft) zeigt nach rechts. Der Leiter wird, wie im Bild gezeigt nach rechts abgelenkt.

a) Umkehrung der Stromrichtung:

- 3-Finger-Regel • der linken Hand
- Daumen (Elektronenbewegung) • **nach unten (!)**
- Zeigefinger (Magnetfeld) • in die Papierebene hinein
- Mittelfinger (Lorentzkraft) • nach links.

Nun wird der stromdurchflossene Leiter nach links abgelenkt.

b) Umkehrung der Magnetfeldrichtung:

- 3-Finger-Regel • der linken Hand
- Daumen (Elektronenbewegung) • nach oben
- Zeigefinger (Magnetfeld) • **aus der Papierebene hinaus (!)**
- Mittelfinger (Lorentzkraft) • nach links.

Wenn man lediglich die Magnetfeldrichtung ändert, so wird der stromdurchflossene Leiter ebenfalls nach links abgelenkt.

Aufgabe 2: (S. 280)

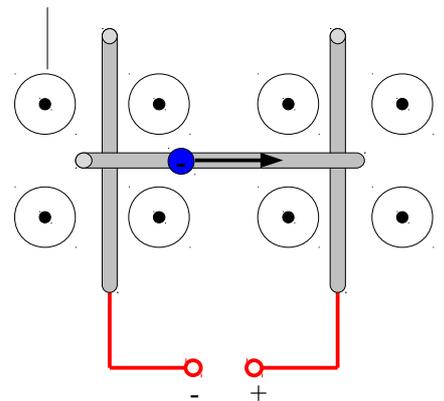
Betrachte die Sicht von oben auf die im Buch gezeigte Abbildung:

Anwendung der • 3-Finger-Regel • der linken Hand:

- Daumen (Elektronenbewegung) • nach rechts (im frei beweglichen Kohlestab)
- Zeigefinger (Magnetfeld) • aus der Papierebene hinaus
- Mittelfinger (Lorentzkraft) • nach oben.

Der frei bewegliche Kohlestab wird durch die Lorentzkraft nach oben (von der Quelle weg) abgelenkt.

Magnetfeldrichtung



Aufgabe 16: Leiterschaukel mit Spannungsquelle (=Netzgerät) (S. 298)

Die Spannungsquelle sorgt dafür, dass sich Elektronen vom Minus- zum Pluspol der Quelle durch die Leiterschaukel bewegen.

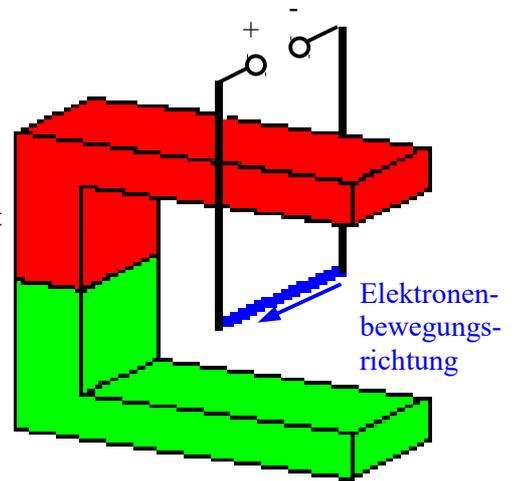
Zwischen den Polen des Hufeisenmagneten bewegen sich die Elektronen daher aus der Papierebene heraus. a) Die Richtung der Lorentzkraft ermittelt man mit der • 3-Finger-Regel • der linken Hand:

- Daumen (Elektronenbewegung) • aus der Papierebene heraus.
- Zeigefinger (Magnetfeld) • nach unten (vom Nord- zum Südpol)
- Mittelfinger (Lorentzkraft) • nach links.

Die Leiterschaukel wird nach links (in den Magneten hinein) gezogen.

b) Die Bewegungsrichtung der Schaukel (entspricht der Richtung der Lorentzkraft)

kann umgekehrt werden, indem man entweder die Stromrichtung ändert (umpolen an der Quelle), oder indem man den Magneten umdreht (Nordpol unten) und damit die Magnetfeldrichtung umgekehrt wird.



Musterlösung „Induktionsspannung durch Bewegung eines Leiters im Magnetfeld“

S. 285 Aufgabe 1; S. 298 Aufgabe 17

Aufgabe 1: Induktion durch Bewegung (S. 285)

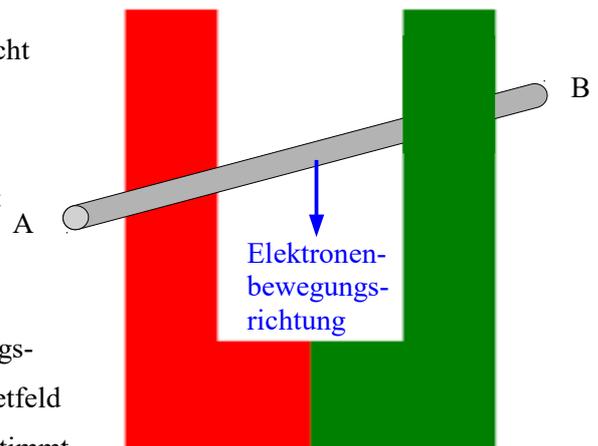
Der Magnet befindet sich in der Papierebene, der Leiter steht senkrecht auf der Papierebene.

Achtung: Das Messgerät in der Abbildung (S. 284 V1) ist keine elektrische Quelle! Es verschiebt nicht die Elektronen, sondern misst lediglich die Stärke des Elektronendrucks am negativen Eingang verglichen mit dem Elektronenzug am positiven Eingang.

Bewegt man den Leiter nach unten, so bewegen sich auch die Leitungselektronen nach unten. Auf diese Leitungselektronen wirkt im Magnetfeld eine Lorentzkraft, die mit der • 3-Finger-Regel • der linken Hand bestimmt werden kann:

- Daumen (Elektronenbewegung) • nach unten
- Zeigefinger (Magnetfeld) • von links (Nord) nach rechts (Süd)
- Mittelfinger (Lorentzkraft) • in Richtung B, in die Papierebene hinein.

Die Elektronen werden durch die Lorentzkraft in Richtung B verschoben. Dort erhält man einen Elektronenüberschuss, in A einen Elektronenmangel. Auf Grund der Ladungstrennung erhält man eine Spannung.



Aufgabe 17: Leiterschaukel mit Spannungsmesser (=Voltmeter) S. 298)

Im Gegensatz zur Aufgabe 16 werden die Elektronen nun nicht mehr von einem Netzgerät durch die Leiterschaukel gedrückt. Die Elektronen ruhen in der Leiterschaukel, bis man sie von Hand nach rechts bewegt.

a) Die Richtung der Lorentzkraft ermittelt man mit der • 3-Finger-Regel

- der linken Hand:
- Daumen (Elektronenbewegung) • nach rechts.
- Zeigefinger (Magnetfeld) • nach unten (vom Nord- zum Südpol)
- Mittelfinger (Lorentzkraft) • aus der Papierebene hinaus.

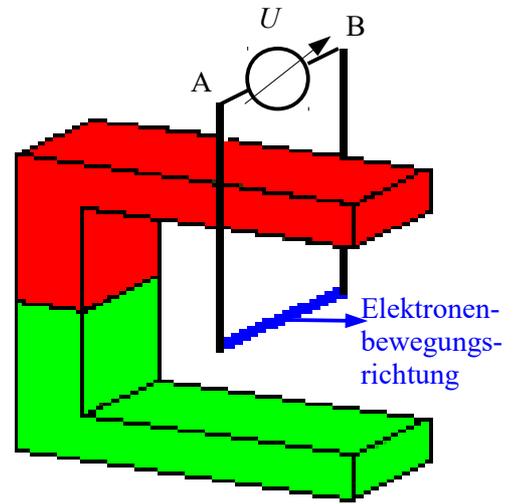
Elektronen werden durch die Lorentzkraft in Richtung A verschoben.

A bildet den Minuspol, B den Pluspol. Die bewegte Leiterschaukel ist die elektrische Quelle (und nicht mehr das Netzgerät aus Aufgabe 16).

b) Bewegt sich die Leiterschaukel nach rechts, so wird eine Spannung induziert. Schwingt sie nach links, so kehrt sich das Spannungsvorzeichen um. Der Zeiger des Spannungsmessers pendelt um seine Nulllage.

c) (Achtung: diese Aufgabe ist eine Herausforderung und zu schwer für eine schriftliche Übung!) Wenn die Kontakte A und B über einen Draht kurzgeschlossen werden, so können die Elektronen im Kreis fließen. Mit einem Voltmeter ist dies nicht möglich, da dieses einen (unendlich) großen Innenwiderstand besitzt und damit keine Elektronen durchlässt. Bewegt man die Unterkante der Leiterschaukel nach rechts, so werden die Leitungselektronen wie in a) beschrieben in Richtung A gedrückt. Sind A und B mit einem Draht verbunden, so können die Elektronen im Kreis fließen. Schaut man von rechts, so bewegen sich die Elektronen im Uhrzeigersinn. Dies entspricht der Bewegungsrichtung der Elektronen aus Teilaufgabe 16.

Dort wurde bereits gezeigt, dass in diesem Fall die Lorentzkraft nach links wirkt, also entgegen der Bewegungsrichtung. Die Bewegung wird abgebremst. Diese Art des Abbremsens wird zum Beispiel in der der Wirbelstrombremse eines Freefall-Towers genutzt. Wer dieses schöne Fahrgeschäft betritt, vertraut also dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion.



Musterlösung „Erzeugung einer Induktionsspannung durch zeitliche Magnetfeldänderung“

S. 288 Aufgabe 1, 4

Aufgabe 1: Magnet fällt durch Spule (S. 288)

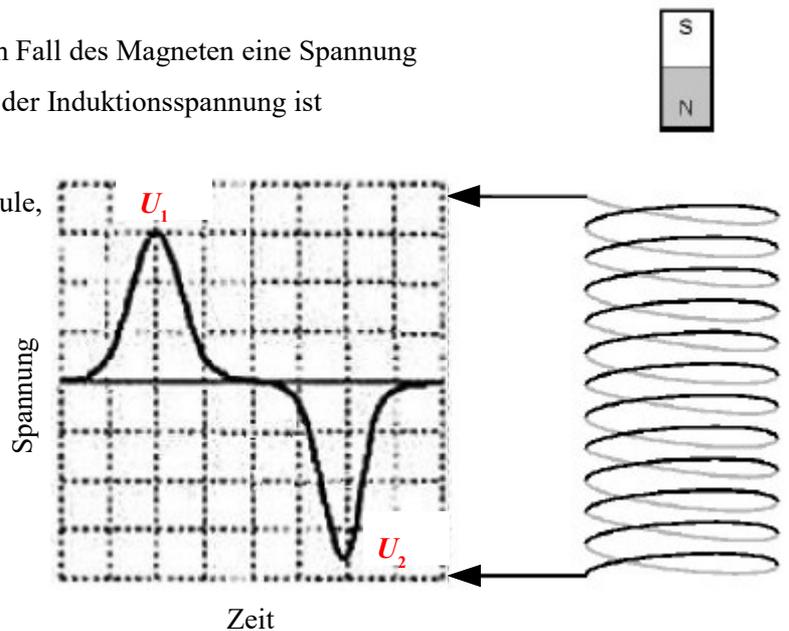
Der Leuchtpunkt des Oszilloskops zeigt an, dass beim Fall des Magneten eine Spannung induziert (erzeugt) wird. **Ursache** für die Entstehung der Induktionsspannung ist die **zeitliche Magnetfeldänderung!**

Befindet sich der Magnet in großer Höhe über der Spule, so ist das vom Magneten erzeugte Magnetfeld am Ort der Spule Null. Mit sinkendem Abstand zur Spule steigt das Magnetfeld am Ort der Spule. Die Magnetfelderhöhung bewirkt die Entstehung der Induktionsspannung U_1 .

Befindet sich der Magnet in der Mitte der Spule, so erreicht das Magnetfeld am Ort der Spule seinen Maximalwert. Es nimmt zu diesem Zeitpunkt weder zu noch ab, so dass die Spannung Null wird (Nulldurchgang in der Mitte des Diagramms).

Fällt der Magnet weiter durch die Spule und schließlich aus der Spule heraus, so nimmt das Magnetfeld am Ort der Spule ab. Dadurch erhält man eine Induktionsspannung U_2 mit negativem Vorzeichen.

Da die Geschwindigkeit des Magneten während des freien Falls immer mehr zunimmt, erfolgt die Magnetfeldänderung beim Austritt des Magneten schneller, als bei dessen Eintritt. Daher ist der Betrag der Induktionsspannung beim Verlassen der Spule größer, als beim Eintritt.



Aufgabe 4: Erzeugung einer Induktionsspannung (S. 288)

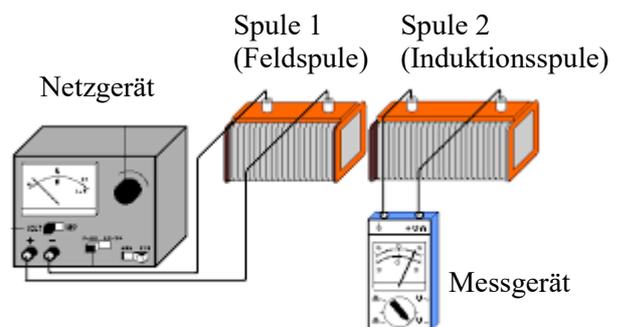
Die Abbildung rechts ist besser als die Abbildung im Buch, da sie optisch deutlicher das Netzgerät beziehungsweise die elektrische Quelle und das Messgerät/Voltmeter unterscheidet. Die beiden Spulen sind prinzipiell baugleich.

Fließt in der linken Spule Strom, so erzeugt sie ein Magnetfeld (daher der Name: Feldspule). Der Eisenkern wurde nicht gezeichnet. Er dient der Verstärkung des von der Spule 1 erzeugten Magnetfeldes am Ort der Spule 2.

a, b) Unterbricht man den linken Stromkreis, so wird das Magnetfeld auch am Ort der Spule 2 Null. Diese **zeitliche Magnetfeldänderung** hat die Entstehung einer **Induktionsspannung** in Spule 2 (genannt: Induktionsspule) zur Folge.

Der Versuch entspricht dem Herausbewegen eines Stabmagneten aus der Induktionsspule, bei dem ebenfalls die zeitliche Abnahme des Magnetfeldes Ursache der Entstehung einer Induktionsspannung ist.

c) Schließt man den linken Stromkreis, so nimmt das Magnetfeld auch am Ort der Spule 2 wieder zu. Dies entspricht einem Experiment, bei dem ein Stabmagnet in die Induktionsspule hineinbewegt wird. Im Gegensatz zum Ausschaltvorgang kehrt sich das Vorzeichen der Induktionsspannung um.



Musterlösung der Übungsaufgaben zur zeitlichen Magnetfeldänderung

Aufgabe 1:

a) • Beschreibung der Beobachtung.

Es wird ein Strom I gemessen, der umso größer ist, je größer die Windungszahl der Spule ist.

• Erklärung:

Wird ein Magnet in eine Spule hineinbewegt, so findet am Ort der Spule eine **zeitliche Magnetfeldänderung** statt. Diese Magnetfeldänderung ruft in jeder Spulenwindung eine bestimmte (Induktions-)spannung U_1 hervor.

Mit steigender Windungszahl wächst daher auch die Spannung U .

Die drei Spulen besitzen zusammen den elektrischen Widerstand R . Die durch Magnetfeldänderung erzeugte Induktionsspannung U ruft in diesem Widerstand die Stromstärke $I = U/R$ hervor, die im Versuch beobachtet wird.

b) • Begründung:

Im Versuch soll gezeigt werden, dass die Stromstärke I proportional zur Windungszahl ist.

Die Spannung U ist proportional zur zeitlichen Magnetfeldänderung. Damit dies auch für die Stromstärke $I = U/R$ gilt, darf sich der Widerstand nicht ändern. In der Reihenschaltung ist dies mit $R = R_1 + R_2 + R_3$ der Fall.

c) • Beschreibung:

Man erhält für jede Spule höhere Werte der Stromstärke (, da die Magnetfeldänderungsgeschwindigkeit größer ist).

Aufgabe 2:

a) • Begründung:

Wenn in der linken Spule Strom fließt, so erzeugt diese Spule, auch am Ort der rechten Spule, ein Magnetfeld. Vergrößert man den Schiebewiderstandswert, so vermindert sich die Stromstärke I , und damit auch das von der linken Spule erzeugte Magnetfeld. Eine **zeitliche Änderung des Magnetfelds** am Ort der rechten Spule führt dort zur Erzeugung einer (Induktions-)spannung U .

b) • Angabe weiterer Möglichkeiten zur Erzeugung einer Induktionsspannung:

1. Öffnen des Schalters S.
2. Entfernen des Weicheisenkerns.
3. Annäherung eines Stabmagneten von der rechten Seite.

Aufgabe 3

a) • Begründung:

In den ersten 20 Sekunden fließt immer Strom in Spule 1, so dass am Ort der Spule 2 ein Magnetfeld erzeugt wird. Von der achten bis zur 16ten Sekunde ist die Stromstärke und damit auch das Magnetfeld konstant. Es findet **keine zeitliche Magnetfeldänderung** statt, und es wird keine Spannung erzeugt.

In den ersten acht und in den letzten vier Sekunden findet eine **zeitliche Magnetfeldänderung** statt. In diesen Zeitintervallen wird eine Spannung erzeugt.

b) • Begründung:

Der Betrag der Induktionsspannung ist im letzten Abschnitt (ab der 16ten Sekunde) doppelt so groß wie in den ersten acht Sekunden, da sich das Magnetfeld in den letzten vier Sekunden doppelt so schnell ändert, wie in den ersten acht Sekunden. [Hinweis: Der Betrag der Steigung $\Delta I/\Delta t$ entspricht der Magnetfeldänderungsgeschwindigkeit.]

c) • Bauliche Veränderungen nennen:

1. Windungszahl der Spule 2 erhöhen.
2. Gemeinsamen Weicheisenkern zur besseren Übertragung des Magnetfeldes verwenden.

Aufgabe 4: Sicherungssystem

a) • Begründung der Beobachtung:

Fließt durch die Senderspule ein Wechselstrom, so wird dort – und auch am Ort der Empfängerspule – ein **zeitlich veränderliches Magnetfeld** erzeugt. Eine **zeitliche Magnetfeldänderung** erzeugt in der Empfängerspule eine Wechselspannung U .

b) • Begründung:

In der Spule im Sicherungsetikett wird ebenfalls eine Spannung U induziert. Diese ruft in der kurzgeschlossenen Spule einen Wechselstrom und damit ein wechselndes Magnetfeld hervor, das sich mit dem Magnetfeld der Senderspule am Ort der Empfängerspule überlagert. Dadurch ändert sich die an der Empfängerspule gemessene Spannung und der Alarm wird ausgelöst.

Aufgabe 5: Induktionsversiegelung

a) • Begründung der Erwärmung:

Fließt durch die Spule ein Wechselstrom, so wird dort – und auch am Ort der Aluminiumfolie – ein **zeitlich veränderliches Magnetfeld** erzeugt. Eine **zeitliche Magnetfeldänderung** erzeugt in der Aluminiumfolie eine Induktionsspannung U und einen Strom $I = U/R$, der letztendlich zur Erwärmung führt.

b) • Begründung:

Papier ist kein elektrischer Leiter. Es fließt kein Strom und das Papier erwärmt sich nicht.

Aufgabe 6: Elektrische Zahnbürste

a) • Erklärung:

In der Ladestation befindet sich eine (Primär-)Spule, an der eine Wechselspannung anliegt. Der Wechselstrom in der Primärspule erzeugt ein sich **zeitlich änderndes Magnetfeld**. Dieses durchsetzt die Sekundärspule (Handgerät) und induziert dort eine Wechselspannung. Im geschlossenen Sekundärstromkreis lädt der Induktionsstrom (mithilfe eines Gleichrichters) den Akku.

b) • Nennen der Energieumwandlung:

Durch den Stromfluss in der Ladestation erwärmen sich die Drähte der Primärspule. Dabei wird elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt.