

**Allgemeine Hinweise:**

- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.!).
- Überprüfen Sie die physikalischen Einheiten in Ihren Rechenschritten und Lösungen! (Vor allem bei längeren Rechenwegen!)
- Lesen Sie die Aufgaben zunächst alle einmal und beginnen Sie dann mit der für Sie einfachsten Aufgabe!

**Erlaubte Hilfsmittel:** Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

**Induktionsspannungen an einer im Magnetfeld schwingenden Leiterschaukel**

Ein Kupferstab der Länge  $L=14\text{ cm}$  hängt wie in Abbildung 1 dargestellt an zwei sehr dünnen langen Kupferdrähten. Diese Leiterschaukel schwingt in einem homogenen Magnetfeld der Stärke  $B=2 \cdot 10^{-2}\text{ T}$ . Die Längsachse des Kupferstabes steht stets senkrecht zu  $\vec{B}$  und zum Geschwindigkeitsvektor  $\vec{v}$ . Außerdem gilt (in guter Näherung)  $\vec{v} \perp \vec{B}$ .

Der Versuch zeigt, dass zwischen den Enden des Kupferstabes eine Spannung auftritt. Diese Spannung wird nach Vorverstärkung durch einen Mikrovoltverstärker mit einem Digitalspeicheroszilloskop oder einem Messwerterfassungssystem aufgezeichnet. Der in der Abbildung 2 dargestellte Graph gibt den zeitlichen Verlauf der auftretenden Spannung  $U(t)$  wieder.

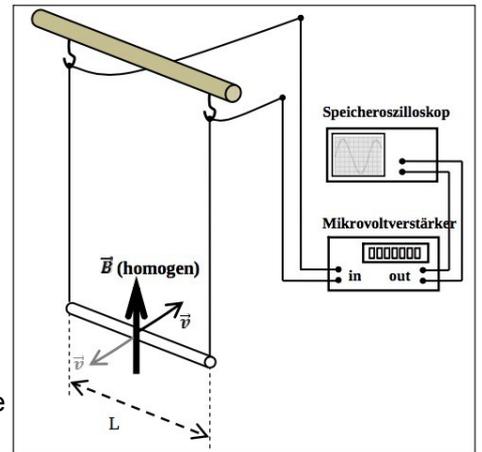


Abbildung 1: Versuchsaufbau, Leiterschaukel im homogenen B-Feld

1.1.

- Skizzieren Sie einen im Magnetfeld bewegten Leiter, indem Sie Abbildung 1 vereinfachen (zweidimensionale Prinzipskizze).
- Erläutern Sie, wieso bei diesem Versuch eine Spannung  $U(t)$  zwischen den Enden des Leiters auftritt.
- Leiten Sie (gegebenenfalls durch Ergänzung Ihrer Skizze) die hier gültige Beziehung  $U(t) = L \cdot v(t) \cdot B$  her. (L bezeichnet die Länge des Kupferstabes.)

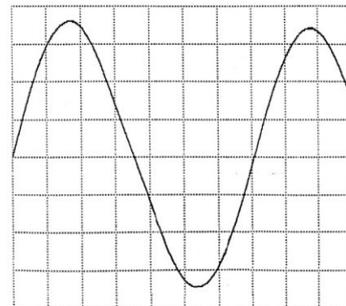


Abbildung 2: Zeit-Spannungs-Diagramm

Zeitablenkung: 0,2 s pro Kästchen  
Verstärkungsfaktor: 2 V pro Kästchen  
Vorverstärkung:  $10^4$  (Mikrovoltverstärker)

1.2.  $U(t)$  verläuft in guter Näherung sinusförmig (siehe Abb. 2). Bei der Bearbeitung der folgenden Aufgabe darf daher von einem rein sinusförmigen Verlauf von  $U(t)$  ausgegangen werden.

- Bestimmen Sie aus dem Messdiagramm (Abb. 2) die Periodendauer  $T$  des Spannungssignals  $U(t)$ .
- Bestimmen Sie aus dem Messdiagramm (Abb. 2) die Höhe der (ersten) Amplitude  $U_0$  (auch  $\hat{U}$  genannt) des Spannungssignals  $U(t)$ .
- Geben Sie einen allgemeinen Funktionsterm für  $U(t)$  an.
- Geben Sie den Funktionsterm für  $U(t)$  mit den konkreten Größen für den hier vorliegenden Fall an.
- Bestimmen Sie die Geschwindigkeit  $v_0$ , mit der die Leiterschaukel durch die Ruhelage, also durch den tiefsten Punkt der Bewegung schwingt.



Abbildung 4a: Versuchsaufbau mit Hufeisenmagnet, der Kupferstab befindet sich in der Ruhelage

1.3. Wie in Abbildung 3a dargestellt, soll der Kupferstab im Magnetfeld eines großen Hufeisenmagneten schwingen. Dabei befindet sich der Leiter zunächst im Raumgebiet zwischen den beiden Schenkeln des Magneten. Das Oszilloskop zeigt den in Abbildung 3b wiedergegebenen Spannungsverlauf.

Die Leiterschaukel und der Magnet werden neu ausgerichtet. Wenn der Kupferstab durch die Ruhelage schwingt, befindet er sich gerade noch zwischen den Schenkeln des Hufeisenmagneten (siehe Abbildung 4a). Das Oszilloskop zeigt nun den

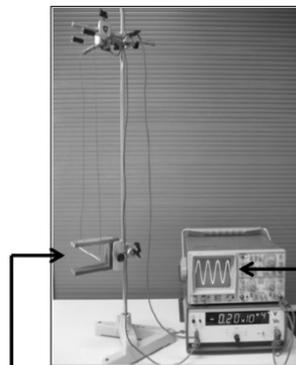


Abbildung 3a: Versuchsaufbau mit Hufeisenmagnet, der Kupferstab befindet sich in der Ruhelage

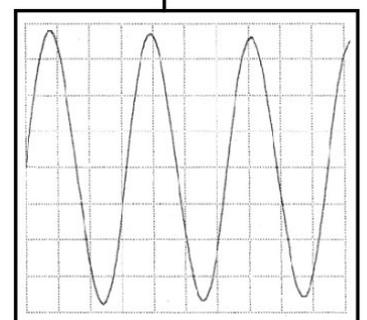
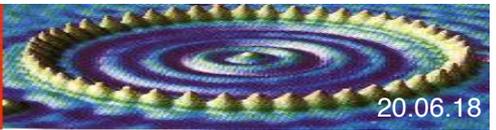


Abbildung 3b: Zeitlicher Verlauf der Induktionsspannung



in Abbildung 4b wiedergegebenen zeitlichen Verlauf der Spannung an.

- Erklären Sie, warum das Zeit-Spannungs-Diagramm im zweiten Fall (Abb. 4b) gegenüber dem Kurvenverlauf im ersten Fall (Abb. 3b) deutlich „verzerrt“ ist.
- Erklären Sie, an welchen Stellen (seiner Bahnkurve) sich der Leiter jeweils im Magnetfeld befinden haben muss, als die Nulldurchgänge (c) geschrieben wurden.
- Erläutern Sie, wie sich der Leiter (relativ zum Magneten) bewegt haben muss, damit die mit (f) bzw. (g) benannten und „fett“ markierten Kurvenabschnitte des Zeit- Spannungs-Diagramms geschrieben werden konnten.

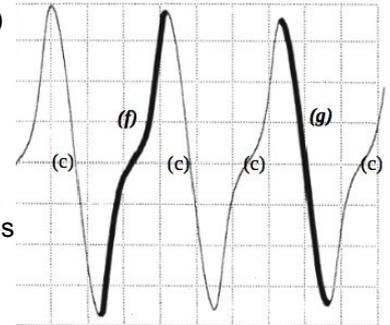


Abbildung 4b:  
Zeitlicher Verlauf der Induktionsspannung

1.4. Werden die beiden Aufhängungsdrähte der Leiterschaukel nicht mit dem (hochohmigen) Messgerät, sondern einfach mit einem Kabel (also Leiter) miteinander verbunden, so bewegt sich die Leiterschaukel (deutlich) anders als ohne das Verbindungskabel.

- Beschreiben und begründen Sie, welche Auswirkungen die Kabelverbindung hat.
- Beschreiben und begründen Sie, wie bzw. warum sich das Bewegungsverhalten der Leiterschaukel ändert.

## Elektrische Zahnbürste

Die Ladestation einer elektrischen Zahnbürste besteht im Wesentlichen aus einer Spule mit Eisenkern, an die eine Wechselspannung  $U_L$  angelegt wird. Dadurch wird im Eisenkern ein magnetisches Wechselfeld  $B$  der Frequenz  $f$  erzeugt, das näherungsweise durch  $B(t) = B_0 \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$  beschrieben wird. Stellt man die Zahnbürste auf die Ladestation, so wird die in der Zahnbürste eingebaute Spule auf den Eisenkern gesteckt. Diese Sekundärspule ist über eine elektrische Schaltung mit einem Akku verbunden.

2.1. Erläutern Sie, dass in der Sekundärspule eine Spannung induziert wird. Gehen Sie dabei auch kurz auf die Funktion des Eisenkerns ein.

In der Ladestation wird die Frequenz von  $50 \text{ Hz}$  (Haushaltsnetz) auf die Frequenz  $f = 24 \text{ kHz}$  erhöht. Der Scheitelwert der Flussdichte beträgt  $B_0 = 1,5 \text{ mT}$ . Die vom Magnetfeld durchsetzte Fläche der Sekundärspule (Windungszahl  $N$ ) beträgt  $A = 0,80 \text{ cm}^2$ .

2.2. Zeigen Sie, dass für die in der Sekundärspule induzierte Spannung gilt:

$$U(t) = N \cdot B_0 \cdot A \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

Im Weiteren soll der Scheitelwert der induzierten Spannung  $1,7 \text{ V}$  betragen.

2.3. Berechne die nötige Windungszahl  $N$ .

2.4. Untersuche, ob man die Sekundärspule in der Praxis so modifizieren kann, dass die Zahnbürste direkt mit der Netzfrequenz  $50 \text{ Hz}$  geladen werden kann. Nimm an, dass sich der Scheitelwert  $B_0$  nicht verändert.

