Entwicklung der Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife in den Naturwissenschaften

Lernaufgabe für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Experimentelle Veranschaulichung des Induktionsgesetzes

Diese Aufgabe wurde von Fachexpertinnen und Fachexperten der Länder, überwiegend Lehrkräften, entwickelt. Die Aufgabenentwicklergruppe wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Fachdidaktik der Physik beraten. Das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen hat den Prozess koordiniert.

Anforderungsniveau	grundlegend ☒	erhöht ☒
Kompetenzbereiche und relevante Standards	**Sachkompetenz**: Die Lernenden … **S 4 bauen Versuchsanordnungen auch unter Verwendung von digitalen Messwerterfassungssystemen nach Anleitungen auf, führen Experimente durch und protokollieren ihre Beobachtungen;** S 6 erklären bekannte Auswerteverfahren und wenden sie auf Messergebnisse an. **Erkenntnisgewinnungskompetenz**: Die Lernenden … E 1 identifizieren und entwickeln Fragestellungen zu physikalischen Sachverhalten; E 2 stellen theoriegeleitet Hypothesen zur Bearbeitung von Fragestellungen auf; **E 4 modellieren Phänomene physikalisch, auch mithilfe mathematischer Darstellungen und digitaler Werkzeuge, wobei sie theoretische Überlegungen und experimentelle Erkenntnisse aufeinander beziehen;** E 5 planen geeignete Experimente und Auswertungen zur Untersuchung einer physikalischen Fragestellung;	

	E 6 erklären mithilfe bekannter Modelle und Theorien die in erhobenen oder recherchierten Daten gefundenen Strukturen und Beziehungen; E 10 beziehen theoretische Überlegungen und Modelle zurück auf Alltagssituationen und reflektieren ihre Generalisierbarkeit. **Kommunikationskompetenz:** Die Lernenden … K 4 formulieren unter Verwendung der Fachsprache chronologisch und kausal korrekt strukturiert; K 6 veranschaulichen Informationen und Daten in ziel-, sach- und adressatengerechten Darstellungsformen, auch mithilfe digitaler Werkzeuge; **K 7 präsentieren physikalische Sachverhalte sowie Lern- und Arbeitsergebnisse sach-, adressaten- und situationsgerecht unter Einsatz geeigneter analoger und digitaler Medien;** K 9 tauschen sich mit anderen konstruktiv über physikalische Sachverhalte aus, vertreten, reflektieren und korrigieren gegebenenfalls den eigenen Standpunkt.
Basiskonzepte	Mathematisieren und Vorhersagen
Inhaltsbereich	Elektrische und magnetische Felder
konkrete Inhalte	Abhängigkeit der Induktionsspannung von A) der Windungszahl der Induktionsspule, B) der Querschnittfläche der Induktionsspule, C) der Geschwindigkeit eines fallenden Magneten, D) dem Winkel zwischen Induktionsspule und Magnetfeld, E) der Amplitude einer veränderlichen Flussdichte und F) der Frequenz einer veränderlichen Flussdichte
Materialien	Arbeitsblätter mit Aufgabenstellung
Bearbeitungszeit	135 Minuten
Hilfsmittel	Experimentiermaterial für Schülerversuche (insbesondere: Spulen, Kabelmaterial, Strom- und Spannungsmessgeräte, Spannungsversorgung, Frequenzgenerator) Taschenrechner Formelsammlung ggf. Programme zur Verarbeitung und Darstellung von Daten
Differenzierungsmöglichkeit	Förderung von Lernschwächeren sowie Forderung Lernstärkerer durch unterschiedliche Anspruchsniveaus der Aufgaben sowie weiterführende Fragestellungen
experimenteller Anteil	ja ☒ nein ☐
Lernvoraussetzungen	♦ freier Fall

	♦ ohmsches Gesetz ♦ Ableitungsbegriff ♦ grafisches Ableiten ♦ Erfahrung im Umgang mit einem registrierenden Messgerät

1 Hinweise zur Durchführung

Die vorliegende Lernaufgabe hat das Ziel, den Lernenden Beobachtungen zu liefern, die das Vertrauen in das Induktionsgesetz stärken. Gegenüber einer eventuellen Behandlung in der Mittelstufe wird das Induktionsgesetz hier vertieft mithilfe des Ableitungsbegriffes betrachtet. Das Induktionsgesetz wird dabei in den Kontext technischer Anwendungen wie dem kabellosen Laden oder dem Transformator gestellt.

Die arbeitsteilige Gruppenarbeit ist eingebettet in einen Vorlauf mit qualitativen Experimenten zur Reaktivierung von Vorwissen und in eine zusammenfassende Vertiefung nach den Vorträgen, in der auch Simulationen zum Einsatz kommen können. Vorlauf und Vertiefung werden hier nicht dargestellt.

Die maximal sechs Arbeitsgruppen untersuchen jeweils den Einfluss verschiedener Parameter auf die Höhe der Induktionsspannung:

A) die Windungszahl der Induktionsspule,
B) ihre Querschnittsfläche,
C) die Geschwindigkeit eines fallenden Magneten,
D) der Winkel, in dem die Magnetfeldlinien durch die Querschnittsfläche der Spule treten,
E) die Frequenz und
F) die Amplitude der Änderung der magnetischen Flussdichte.

Je nach der intendierten Tiefe der Behandlung kann als Möglichkeit der Differenzierung die Betrachtung einzelner Parameter (z. B. die der Gruppen C und D) weggelassen werden.

Die Arbeit aller Gruppen ist jeweils analog strukturiert. Da die Lernaufgabe das Induktionsgesetz veranschaulichen soll, wird es den Lernenden gleich zu Beginn mitgeteilt. Eine darauffolgende Phase der Hypothesenbildung zum Einfluss des jeweiligen Parameters auf die Induktionsspannung ist klar getrennt von der Experimentierphase, indem die Gruppe erst dann das Experimentiermaterial erhält, wenn sie der Lehrperson ihre Hypothese gezeigt hat. Die Hypothesenbildung an dieser Stelle dient der kognitiven Aktivierung. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen in verschiedenen Präsentationsformen wie einem Diagramm oder einem Text dargestellt werden. In jeweils fünfminütigen Vorträgen informieren sich die Gruppen anschließend über das experimentelle Vorgehen und die Untersuchungsergebnisse. Die hierfür eingesetzten Medien sind je nach Ausstattung der Schule zu wählen. Andere Möglichkeiten der gegenseitigen Information wie ein Gruppenpuzzle sind denkbar. In jedem Fall sollte nach der Präsentation der Ergebnisse ein Gesamtüberblick erarbeitet werden, in dem insbesondere das Prinzip der Variablenkontrolle zur Sprache kommt. Hier kann im Nachgang begründet werden, dass in den Experimenten eine Dreiecksspannung verwendet wurde, um eine abschnittsweise konstante Induktionsspannung zu erzeugen. Es wird angeregt, zur Vertiefung Fälle mit sinusförmigem Wechselstrom zu untersuchen.

Zur Differenzierung können die Lernenden nach Abschluss der obligatorischen Untersuchungen den Einfluss weiterer Faktoren auf die Höhe der Induktionsspannung untersuchen, falls noch genügend Zeit bleibt. Auch könnte auf erhöhtem Niveau das Induktionsgesetz in differenzieller Form behandelt werden. Als Hilfestellung kann der Gruppe C der zur Auswertung benötigte Zusammenhang zwischen Fallhöhe h und Fallgeschwindigkeit v sowie den Gruppen E und F der Zusammenhang zwischen am Widerstand abgegriffener Spannung U und magnetischer Flussdichte B in der Feldspule gegeben werden.

Zur Bearbeitung der Aufgaben müssen die Lernenden mit dem Ableitungsbegriff, insbesondere mit dem grafischen Differenzieren, vertraut sein. Zur Auswertung benötigen sie Kenntnisse zum freien Fall und zum ohmschen Gesetz. Diese können ihnen aber auch in der Stunde zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 1: Hinweise zum Schwierigkeitsgrad

Gruppe	**experimentelle Anforderung**	**mathematische Anforderung**
A (Windungszahl)	gering	gering
B (Fläche)	erfordert Geschick	mittel
C (Geschwindigkeit)	anspruchsvoll	anspruchsvoll
D (Winkel)	erfordert Sorgfalt	mittel
E (Amplitude)	mittel	mittel
F (Frequenz)	erfordert Sorgfalt	anspruchsvoll

Quelle: IQB

Die Versuche sind abgestimmt auf den Experimentiergerätesatz zur Elektrizität für die Abiturprüfung in Niedersachsen, können aber ebenfalls mit alternativem Material durchgeführt werden. Die Fallvorrichtung für Gruppe C kann auch mit einfachen Mitteln selbst hergestellt werden. Es ist sinnvoll, dass die Lernenden bereits Erfahrungen im Umgang mit dem Versuchsmaterial haben.

2 Aufgabenstellung

Gruppe A: Abhängigkeit der induzierten Spannung von der Windungszahl

Alle Induktionsexperimente kann man durch das Induktionsgesetz in der Form

$$U_{ind} = -n \cdot \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

beschreiben. Dabei ist *n* die Windungszahl der Induktions- (oder Sekundär-)spule, *B* die magnetische Flussdichte, *A* die vom Magnetfeld durchsetzte Querschnittsfläche der Induktionsspule und α der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Flussdichte und der Spulenachse.

$$\frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

ist die mittlere Änderungsrate des Terms in der Klammer im Zeitintervall Δt und U_{ind} der Mittelwert der in diesem Zeitintervall induzierten Spannung.

Jede Arbeitsgruppe untersucht jeweils den Einfluss eines anderen Parameters auf die Höhe der Induktionsspannung. Die spezielle Aufgabe Ihrer Gruppe A behandelt die folgende Situation:

Oft stellt sich die technische Aufgabe, aus der Spannung unseres elektrischen Netzes von 230 V eine höhere oder eine geringere Spannung zu erzeugen. Zum Beispiel wird für das Aufladen eines Smartphones oder Tablets eine Spannung von nur 5 V benötigt. Dazu verwendet man meist einen Transformator. Dieser besteht in der Regel aus zwei Spulen, die auf einem gemeinsamen Eisenkern stecken.

Wie die induzierte Spannung von der Windungszahl der Induktionsspule abhängt, werden Sie mit der untenstehenden Schaltung untersuchen. Um die mathematische Beschreibung zu vereinfachen, arbeiten Sie mit der Spannung aus einem Dreieckgenerator.

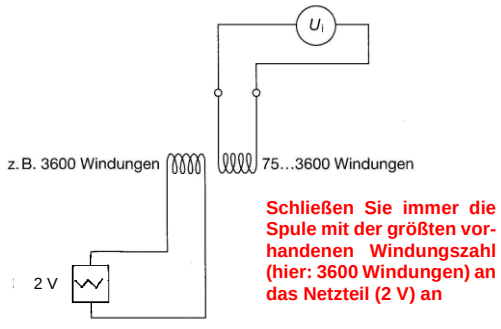

Abbildung A1: Schaltbild zum Versuchsaufbau, IQB

Abbildung A2: Versuchsaufbau, IQB

Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn man Induktionsspulen mit verschiedenen Windungszahlen verwendet.

Wenn Sie diese Hypothese in Ihrer Arbeitsgruppe abgestimmt und Ihrer Lehrkraft gezeigt haben, erhalten Sie das Experimentiermaterial und die zugehörige Aufgabenstellung.

Experimentelle Aufgabenstellung für Gruppe A

Bauen Sie die Schaltung wie in den Abbildungen gezeigt auf. Stellen Sie das Messgerät auf Wechselspannung (AC) ein.

Hinweis: Aus Sicherheitsgründen müssen Sie anstelle der Spannung des Stromnetzes (230 V) eine kleinere Spannung verwenden. Benutzen Sie daher einen Dreieckgenerator, den Sie auf eine Spannung von etwa 2 V und eine Frequenz von etwa 50 Hz einstellen.

1. Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Windungszahl der Induktionsspule abhängt.
2. Formulieren Sie Ihr Ergebnis in Worten.
3. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Induktionsgesetz. Eine quantitative Untersuchung wird dabei nicht erwartet.
4. Wenn Sie noch Zeit haben, können Sie z. B. mit den kurzen Spulen in Ihrem Experimentiersatz und anders geformten Eisenkernen untersuchen, ob die Induktionsspannung bei gleichen Windungszahlen und gleicher Spannung (2 V) noch von bisher unbeachteten Aspekten abhängt.
5. Bereiten Sie einen Vortrag von 5 Minuten vor, mit dem Sie die anderen Gruppen über Ihr Vorgehen und Ihr Ergebnis informieren. Gehen Sie dabei darauf ein, was Ihr Ergebnis für die oben beschriebene Anwendungssituation bedeutet.

Gruppe B: Abhängigkeit der induzierten Spannung von der Fläche

Alle Induktionsexperimente kann man durch das Induktionsgesetz in der Form

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

beschreiben. Dabei ist *n* die Windungszahl der Induktions- (oder Sekundär-)spule, *B* die magnetische Flussdichte, *A* die vom Magnetfeld durchsetzte Querschnittsfläche der Induktionsspule und α der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Flussdichte und der Spulenachse.

$$\frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

ist die mittlere Änderungsrate des Terms in der Klammer im Zeitintervall Δt und U_{ind} der Mittelwert der in diesem Zeitintervall induzierten Spannung.

Jede Arbeitsgruppe untersucht jeweils den Einfluss eines anderen Parameters auf die Höhe der Induktionsspannung. Die spezielle Aufgabe Ihrer Gruppe B behandelt die folgende Situation:

Kabellose Ladestationen für Smartphones verwenden zur Aufladung das Induktionsprinzip. Bei manchen dieser Geräte wird das magnetische Feld in einer recht großen Ladeschale erzeugt.

Wie die induzierte Spannung von der Querschnittsfläche der Induktionsspule abhängt, werden Sie hier mit der unten dargestellten Schaltung untersuchen. Um die mathematische Beschreibung zu vereinfachen, arbeiten Sie mit der Spannung aus einem Dreieckgenerator. In den Bildern ist ein möglicher Aufbau dargestellt. Sie sehen im Inneren der Feldspule eine kleine Induktionsspule. Sie wird aus mindestens drei Windungen einer flexiblen Leitung gelegt, sodass ihre Querschnittsfläche verändert werden kann.

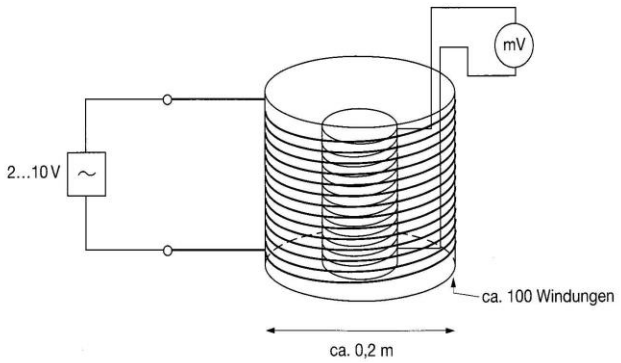

Abbildung B1: Schaltbild zum Versuchsaufbau, IQB

Abbildung B2: Versuchsaufbau, IQB

> Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn man Induktionsspulen mit verschiedenen Querschnittsflächen verwendet.

Wenn Sie diese Hypothese in Ihrer Arbeitsgruppe abgestimmt und Ihrer Lehrkraft gezeigt haben, erhalten Sie das Experimentiermaterial und die zugehörige Aufgabenstellung.

Experimentelle Aufgabenstellung für Gruppe B

Bauen Sie die Schaltung wie in den Abbildungen gezeigt auf. Stellen Sie den Dreieckgenerator auf eine Spannung von etwa 2 V bis etwa 6 V und eine Frequenz von etwa 50 Hz ein. Das Messgerät muss auf Wechselspannung (AC) eingestellt werden. Achten Sie darauf, dass die Querschnittsflächen der beiden Spulen parallel zueinander stehen.

1. Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Querschnittsfläche der Induktionsspule abhängt.
2. Formulieren Sie Ihr Ergebnis in Worten.
3. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Induktionsgesetz. Eine quantitative Untersuchung wird dabei nicht erwartet.
4. Wenn Sie noch Zeit haben, können Sie z. B. untersuchen, wie sich die gegenseitige Lage beider Spulen zueinander, eine Vergrößerung der Querschnittsfläche der felderzeugenden Spule oder eine Änderung der Form der Induktionsspule auswirken.
5. Bereiten Sie einen Vortrag von 5 Minuten vor, mit dem Sie die anderen Gruppen über Ihr Vorgehen und Ihr Ergebnis informieren. Gehen Sie dabei darauf ein, was Ihr Ergebnis für die oben beschriebene Anwendungssituation bedeutet.

Gruppe C: Abhängigkeit der induzierten Spannung von der Bewegung

Alle Induktionsexperimente kann man durch das Induktionsgesetz in der Form

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

beschreiben. Dabei ist *n* die Windungszahl der Induktions- (oder Sekundär-)spule, *B* die magnetische Flussdichte, *A* die vom Magnetfeld durchsetzte Querschnittsfläche der Induktionsspule und α der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Flussdichte und der Spulenachse.

$$\frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

ist die mittlere Änderungsrate des Terms in der Klammer im Zeitintervall Δt und U_{ind} der Mittelwert der in diesem Zeitintervall induzierten Spannung.

Jede Arbeitsgruppe untersucht jeweils den Einfluss eines anderen Parameters auf die Höhe der Induktionsspannung. Die spezielle Aufgabe Ihrer Gruppe C behandelt die folgende Situation:

In besonderen Taschenlampen wird die elektrische Energie durch Schütteln eines starken Magneten in einer Spule bereitgestellt.

Wie die dabei induzierte Spannung von der Geschwindigkeit des bewegten Magneten abhängt, werden Sie hier untersuchen. In den Bildern ist ein möglicher Aufbau dargestellt. Am unteren Ende der Fallröhre ist die Spule befestigt. Der Magnet wird aus verschiedenen Höhen fallen gelassen.

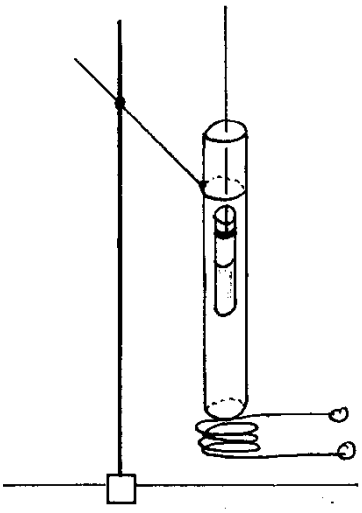

Abbildung C1: Versuchsskizze, IQB

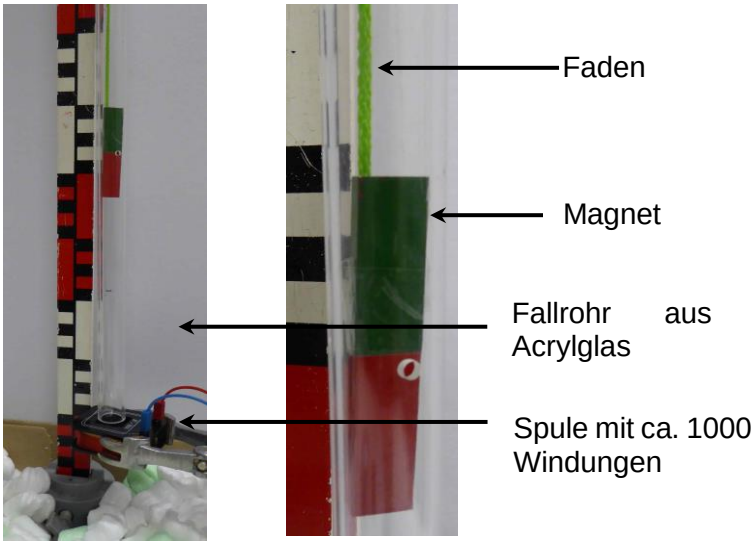

Abbildung C2: Versuchsaufbau, IQB

> Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn sich der Magnet mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch die Spule bewegt.

Wenn Sie diese Hypothese in Ihrer Arbeitsgruppe abgestimmt und Ihrer Lehrkraft gezeigt haben, erhalten Sie das Experimentiermaterial und die zugehörige Aufgabenstellung.

Experimentelle Aufgabenstellung für Gruppe C

Ordnen Sie die Geräte wie in den Abbildungen gezeigt an. Geräte zur Erfassung der Messwerte sind hier nicht dargestellt, werden Ihnen von der Lehrkraft aber zur Verfügung gestellt.

Hinweise: Es ist wichtig, dass das Fallrohr genau lotrecht über der Mitte der Spule fest angebracht wird. Die auf der Abbildung dargestellten Schaumstoffstücke sollen verhindern, dass der Magnet beim Aufprall auf die Arbeitsfläche Schaden nimmt.

Befestigen Sie am oberen Ende des Magneten einen dünnen Faden, sodass Sie den Magneten aus unterschiedlichen, aber genau bekannten Höhen durch die Spule fallen lassen können.

1. Dokumentieren Sie die Ergebnisse einer sorgfältig durchgeführten Messreihe zur Abhängigkeit des Scheitelwerts $\hat{U}_{\mathrm{ind}}$der induzierten Spannung von der Fallhöhe.
2. Berechnen Sie zu jeder Fallhöhe die Geschwindigkeit, mit der der untere Pol des Magneten durch die Spulenmitte fällt.
3. Zeichnen Sie auf dieser Grundlage ein *v*-$\hat{U}_{\mathrm{ind}}$-Diagramm.
4. Formulieren Sie Ihr Ergebnis in Worten.
5. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Induktionsgesetz. Eine quantitative Untersuchung wird dabei nicht erwartet.
6. Wenn Sie noch Zeit haben, können Sie z. B. untersuchen, wie die gemessene Spannung $\hat{U}_{\mathrm{ind}}$ sich ändert, wenn Sie eine andere Spule oder ggf. einen anderen Magneten benutzen.
7. Bereiten Sie einen Vortrag von 5 Minuten vor, mit dem Sie die anderen Gruppen über Ihr Vorgehen und Ihr Ergebnis informieren. Gehen Sie dabei darauf ein, was Ihr Ergebnis für die oben beschriebene Anwendungssituation bedeutet.

Gruppe D: Abhängigkeit der induzierten Spannung vom Winkel

Alle Induktionsexperimente kann man durch das Induktionsgesetz in der Form

$$U_{\mathrm{ind}} = -n \cdot \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

beschreiben. Dabei ist *n* die Windungszahl der Induktions- (oder Sekundär-)spule, *B* die magnetische Flussdichte, *A* die vom Magnetfeld durchsetzte Querschnittsfläche der Induktionsspule und α der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Flussdichte und der Achse der Spule.

$$\frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

ist die mittlere Änderungsrate des Terms in der Klammer im Zeitintervall Δ*t* und U_{ind} der Mittelwert der in diesem Zeitintervall induzierten Spannung.

Jede Arbeitsgruppe untersucht jeweils den Einfluss eines anderen Parameters auf die Höhe der Induktionsspannung. Die spezielle Aufgabe Ihrer Gruppe D behandelt die folgende Situation:

Vielleicht haben Sie davon gehört, dass Techniken entwickelt werden, um elektrische Geräte kabellos in einem Raum zu betreiben. Überlegt wird dabei, die felderzeugenden Spulen unsichtbar z. B. in Wänden unterzubringen.

Ob zum sinnvollen Betrieb wichtig ist, in welchem Winkel die Spulen zueinanderstehen, werden Sie hier untersuchen. Um die mathematische Beschreibung zu vereinfachen, arbeiten Sie mit der Spannung aus einem Dreieckgenerator. Im Bild ist ein möglicher Aufbau dargestellt. Zwischen zwei Feldspulen sehen Sie auf einer Winkelskala die Induktionsspule. Es werden zwei Feldspulen verwendet, um am Ort der Induktionsspule ein hinreichend homogenes Feld zu erzeugen.

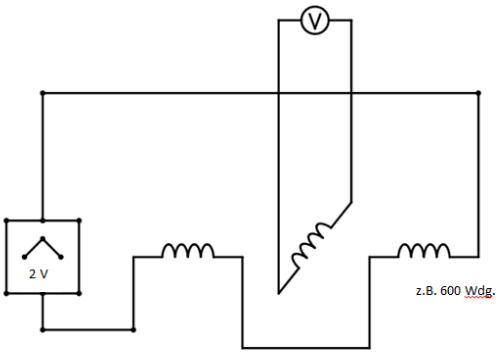

Abbildung D1: Schaltbild zum Versuchsaufbau, IQB

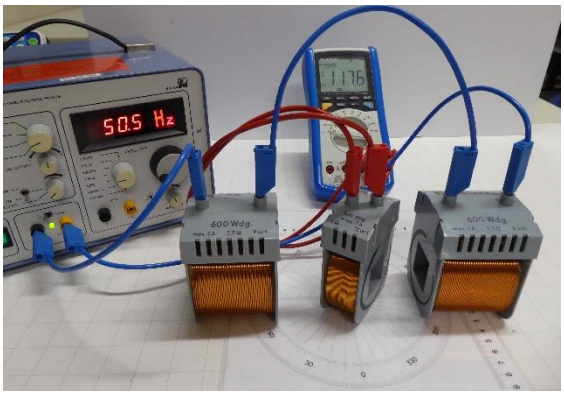

Abbildung D2: Versuchsaufbau, IQB

Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn man die Induktionsspule unter verschiedenen Winkeln im Feld der beiden felderzeugenden Spulen aufstellt.

Wenn Sie diese Hypothese in Ihrer Arbeitsgruppe abgestimmt und Ihrer Lehrkraft gezeigt haben, erhalten Sie das Experimentiermaterial und die zugehörige Aufgabenstellung.

Experimentelle Aufgabenstellung für Gruppe D

Ordnen Sie die Spulen wie in der Abbildung gezeigt an. (Eingestellt ist dort der Winkel 30°.)

Schließen Sie die beiden hintereinandergeschalteten, felderzeugenden Spulen an 2 V bis 6 V eines Dreieckgenerators bei einer Frequenz von etwa 50 Hz an. Stellen Sie das Spannungsmessgerät auf Wechselspannung (AC) ein.

1. Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung vom Winkel abhängt.
2. Formulieren Sie Ihr Ergebnis in Worten.
3. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Induktionsgesetz. Eine quantitative Untersuchung wird dabei nicht erwartet.
4. Wenn Sie noch Zeit haben, können Sie z. B. untersuchen, wie sich der Abstand zwischen Induktionsspule und Feldspulen, eine Veränderung der Versorgungsspannung oder auch das Einbringen eines oder mehrerer Eisenkerne auswirken.
5. Bereiten Sie einen Vortrag von 5 Minuten vor, mit dem Sie die anderen Gruppen über Ihr Vorgehen und Ihr Ergebnis informieren. Gehen Sie dabei darauf ein, was Ihr Ergebnis für die oben beschriebene Anwendungssituation bedeutet.

Gruppe E: Einfluss der Amplitude

Alle Induktionsexperimente kann man durch das Induktionsgesetz in der Form

$$U_{\text{ind}} = -n \cdot \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

beschreiben. Dabei ist *n* die Windungszahl der Induktions- (oder Sekundär-)spule, *B* die magnetische Flussdichte, *A* die vom Magnetfeld durchsetzte Querschnittsfläche der Induktionsspule und α der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Flussdichte und der Achse der Spule.

$$\frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

ist die mittlere Änderungsrate des Terms in der Klammer im Zeitintervall Δ*t* und U_{ind} der Mittelwert der in diesem Zeitintervall induzierten Spannung

Jede Arbeitsgruppe untersucht jeweils den Einfluss eines anderen Parameters auf die Höhe der Induktionsspannung. Die spezielle Aufgabe Ihrer Gruppe E behandelt die folgende Situation:

Im europäischen Versorgungsnetz für elektrische Energie werden abschnittsweise verschiedene Spannungen verwendet (z. B. 400 V; 20.000 V; 400.000 V). Zwischen diesen Abschnitten werden jeweils Transformatoren eingesetzt. Ein Transformator besteht in der Regel aus zwei Spulen, die auf einem gemeinsamen Eisenkern stecken. Aus Gründen der Vereinfachung wird in Ihrem Experiment auf einen Eisenkern verzichtet.

Wie sich die Amplitude verschiedener Spannungen an der Quelle auswirkt, werden Sie hier untersuchen. Dies gelingt besonders gut, wenn als elektrische Quelle ein Dreieckgenerator verwendet wird. In den Bildern ist ein möglicher Aufbau dargestellt. Sie sehen die Schaltung mit Dreieckgenerator und den beiden Spulen. Auf einem Oszilloskop oder einem anderen geeigneten Messgerät werden die Stromstärke durch die Feldspule und die Induktionsspannung dargestellt.

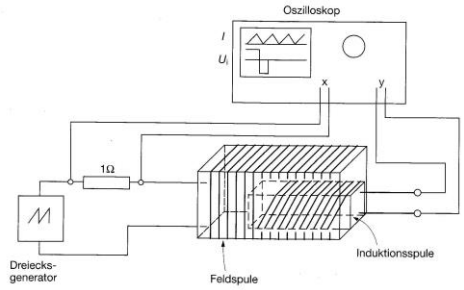

Abbildung E1: Schaltbild zum Versuchsaufbau, IQB

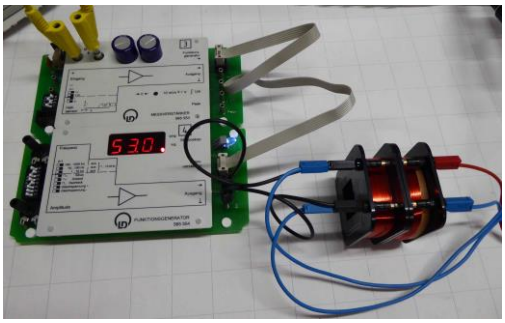

Abbildung E2: Versuchsaufbau, IQB

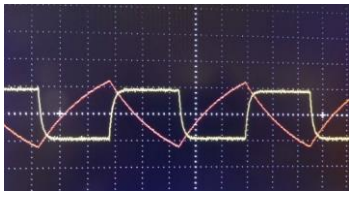

Abbildung E3: Oszillogramm, IQB

Beschreiben Sie, wie die beiden Graphen, die das Oszilloskop zeigt, zusammenhängen. Stellen Sie auf dieser Grundlage ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese auf, wie sich die beiden Graphen in Abhängigkeit von der an der Quelle eingestellten Spannungsamplitude verändern.

Wenn Sie diese Hypothese in Ihrer Arbeitsgruppe abgestimmt und Ihrer Lehrkraft gezeigt haben, erhalten Sie das Experimentiermaterial und die zugehörige Aufgabenstellung.

Experimentelle Aufgabenstellung für Gruppe E

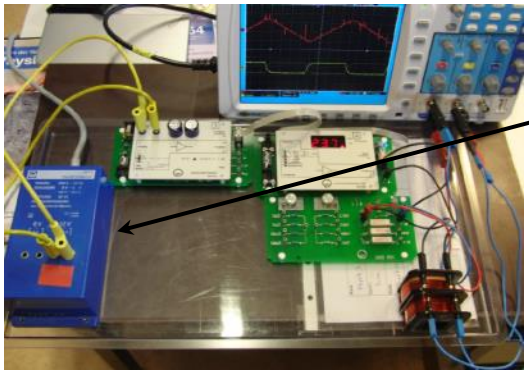

Abbildung E4: Versuchsaufbau, IQB

Abbildung E5: Detail des Versuchsaufbaus, IQB

Bauen Sie die Schaltung gemäß der Schaltskizze auf. Um auf einem Kanal des Oszilloskops ein Abbild des zeitlichen Verlaufs der magnetischen Flussdichte *B* zu erhalten, nutzt man aus, dass die magnetische Flussdichte in einer Spule proportional zur elektrischen Stromstärke ist. Da die über einem Widerstand abgegriffene Spannung wegen $R = \frac{U}{I}$ proportional zur elektrischen Stromstärke durch die Feldspule ist, wird in den Stromkreis ein Widerstand von R = 1 Ω eingesetzt. Auf dem anderen Kanal wird die induzierte Spannung U_i angezeigt.

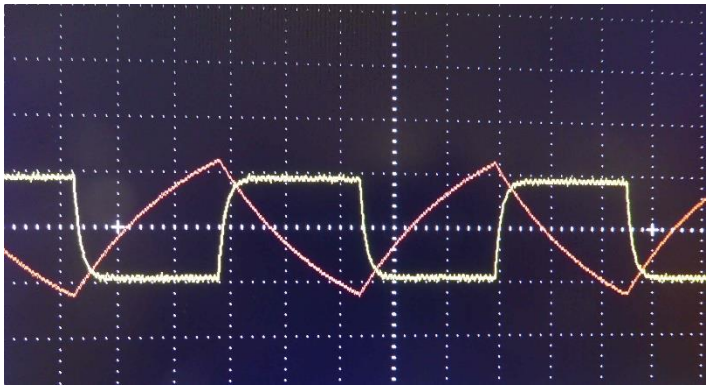

Abbildung E6: Oszillogramm, IQB

1. Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Amplitude der Spannung am Widerstand abhängt.
2. Formulieren Sie Ihr Ergebnis in Worten.
3. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Induktionsgesetz, indem Sie auf die Änderungsrate von *B* eingehen. Eine quantitative Untersuchung wird dabei nicht erwartet.
4. Wenn Sie noch Zeit haben, können Sie z. B. den Einfluss von Eisenkernen, des Abstandes zwischen den Spulen und von deren Orientierung zueinander untersuchen.
5. Bereiten Sie einen Vortrag von 5 Minuten vor, mit dem Sie die anderen Gruppen über Ihr Vorgehen und Ihr Ergebnis informieren. Gehen Sie dabei darauf ein, was Ihr Ergebnis für die oben beschriebene Anwendungssituation bedeutet.

Gruppe F: Einfluss der Frequenz

Alle Induktionsexperimente kann man durch das Induktionsgesetz in der Form

$$U_{\mathrm{ind}} = -n \cdot \frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

beschreiben. Dabei ist *n* die Windungszahl der Induktions- (oder Sekundär-)spule, *B* die magnetische Flussdichte, *A* die vom Magnetfeld durchsetzte Querschnittsfläche der Induktionsspule und α der Winkel zwischen der Richtung der magnetischen Flussdichte und der Achse der Spule.

$$\frac{\Delta(B \cdot A \cdot \cos(\alpha))}{\Delta t}$$

ist die mittlere Änderungsrate des Terms in der Klammer im Zeitintervall Δt und U_{ind} der Mittelwert der in diesem Zeitintervall induzierten Spannung.

Jede Arbeitsgruppe untersucht jeweils den Einfluss eines anderen Parameters auf die Höhe der Induktionsspannung. Die spezielle Aufgabe Ihrer Gruppe F behandelt die folgende Situation:

Kabellose Ladestationen für Zahnbürsten oder Smartphones verwenden zur Aufladung das Induktionsprinzip. Bei diesen Geräten wird das magnetische Feld mit einer deutlich höheren Frequenz als der Netzfrequenz (50 Hz) verändert.

Wie sich eine Erhöhung der Frequenz der Spannung an der Feldspule auswirkt, werden Sie hier untersuchen. Als elektrische Quelle wird ein Dreieckgenerator verwendet. In den Bildern ist ein möglicher Aufbau dargestellt. Sie sehen die Schaltung mit Dreieckgenerator und den beiden Spulen. Auf einem Oszilloskop oder einem anderen geeigneten Messgerät werden die Stromstärke durch die Feldspule und die Induktionsspannung dargestellt.

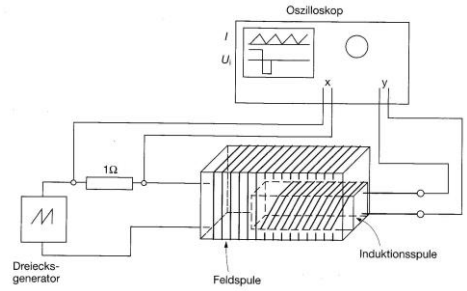

Abbildung F1: Schaltbild zum Versuchsaufbau, IQB

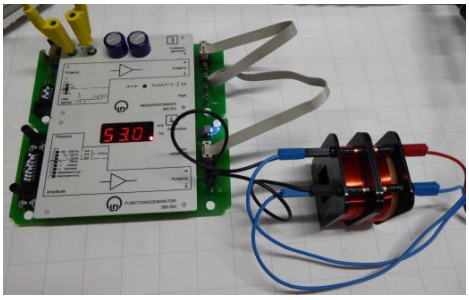

Abbildung F2: Versuchsaufbau, IQB

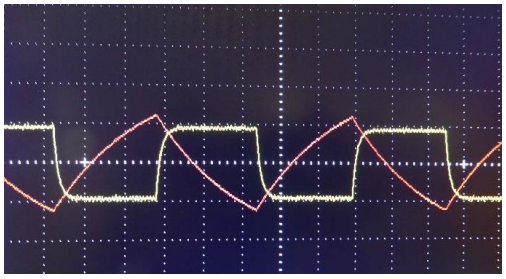

Abbildung F3: Oszillogramm, IQB

> Beschreiben Sie, wie die beiden Graphen, die das Oszilloskop zeigt, zusammenhängen. Stellen Sie auf dieser Grundlage ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese auf, wie sich die beiden Graphen in Abhängigkeit von der an der Spannungsquelle eingestellten Frequenz verändern.

Wenn Sie diese Hypothese in Ihrer Arbeitsgruppe abgestimmt und Ihrer Lehrkraft gezeigt haben, erhalten Sie das Experimentiermaterial und die zugehörige Aufgabenstellung.

Experimentelle Aufgabenstellung für Gruppe F

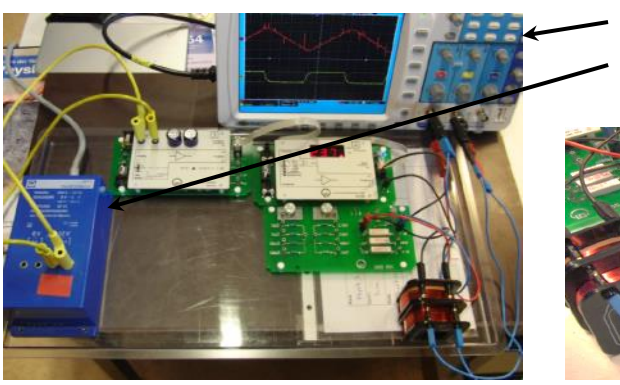

Abbildung F4: Versuchsaufbau, IQB

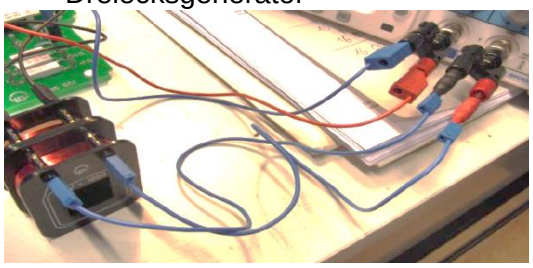

Abbildung F5: Detail des Versuchsaufbaus, IQB

Bauen Sie die Schaltung gemäß der Schaltskizze auf. Um auf einem Kanal des Oszilloskops ein Abbild des zeitlichen Verlaufs der magnetischen Flussdichte *B* zu erhalten, nutzt man aus, dass die magnetische Flussdichte in einer Spule proportional zur elektrischen Stromstärke ist. Da die über einem Widerstand abgegriffene Spannung wegen $R = \frac{U}{I}$ proportional zur elektrischen Stromstärke durch die Feldspule ist, wird in den Stromkreis ein Widerstand von R = 1 Ω eingesetzt. Auf dem anderen Kanal wird die induzierte Spannung U_{ind} angezeigt.

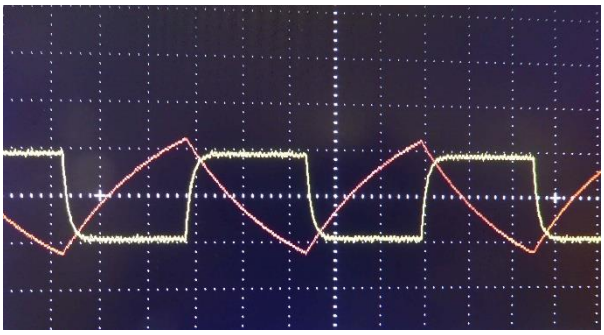

Abbildung F6: Oszillogramm, IQB

1. Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Frequenz abhängt. Die Frequenz soll dabei zwischen 10 Hz und 100 Hz variieren.

   Hinweis: Wenn Sie die Frequenz neu einstellen, verändert sich auch die Amplitude der Spannung am Widerstand. Daher ist es in Ihrem Experiment erforderlich, nach jeder neuen Einstellung die Amplitude mit dem Regler am Generator wieder auf den vorherigen Wert einzustellen.

2. Formulieren Sie Ihr Ergebnis in Worten.

3. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Induktionsgesetz, indem Sie auf die Änderungsrate von *B* eingehen. Eine quantitative Untersuchung wird dabei nicht erwartet.

4. Wenn Sie noch Zeit haben, können Sie z. B. den Einfluss von Eisenkernen, des Abstandes zwischen den Spulen und von deren Orientierung zueinander untersuchen.

5. Bereiten Sie einen Vortrag von 5 Minuten vor, mit dem Sie die anderen Gruppen über Ihr Vorgehen und Ihr Ergebnis informieren. Gehen Sie dabei darauf ein, was Ihr Ergebnis für die oben beschriebene Anwendungssituation bedeutet.

3 Lösungshinweise und Bezug zu den Standards

Es werden folgende Abkürzungen verwandt:

- S 1 – 7 Standards der Sachkompetenz (erste Spalte)
- E 1 – 11 Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz (zweite Spalte),
- K 1 – 10 Standards der Kommunikationskompetenz (dritte Spalte),
- B 1 – 8 Standards der Bewertungskompetenz (vierte Spalte).

Gruppe A

	Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn man Induktionsspulen mit verschiedenen Windungszahlen verwendet.		E 1, 2		

Gruppe B

	Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn man Induktionsspulen mit verschiedenen Querschnittsflächen verwendet.		E 1, 2		

Gruppe C

	Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn sich der Magnet mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten durch die Spule bewegt.		E 1, 2		

Gruppe D

	Stellen Sie zunächst ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese darüber auf, welche Auswirkung es auf die induzierte Spannung hat, wenn man die Induktionsspule unter verschiedenen Winkeln im Feld der beiden felderzeugenden Spulen aufstellt.		E 1, 2		

Gruppe E

	Beschreiben Sie, wie die beiden Graphen, die das Oszilloskop zeigt, zusammenhängen. Stellen Sie auf dieser Grundlage ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese auf, wie sich die beiden Graphen in Abhängigkeit von der an der Quelle eingestellten Spannungsamplitude verändern		E 1, 2		

Gruppe F

	Beschreiben Sie, wie die beiden Graphen, die das Oszilloskop zeigt, zusammenhängen. Stellen Sie auf dieser Grundlage ausgehend vom Induktionsgesetz eine Hypothese auf, wie sich die beiden Graphen in Abhängigkeit von		E 1, 2		

	der an der Spannungsquelle eingestellten Frequenz verändern.				

Unter Bezug auf das Induktionsgesetz formulieren die Lernenden eine Annahme, die durch ein Experiment überprüft werden kann. Da die Hypothese an dieser Stelle der kognitiven Aktivierung dient, ist es nicht notwendig, Hypothesen so zu formulieren, dass sie später bestätigt werden.

Experimentelle Aufgabenstellung

Gruppe A

	Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Windungszahl der Induktionsspule abhängt.	S 4, 6	E 4	K 6	

Gruppe B

	Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Querschnittsfläche der Induktionsspule abhängt.	S 4, 6	E 4	K 6	

Gruppe C

	Dokumentieren Sie die Ergebnisse einer sorgfältig durchgeführten Messreihe zur Abhängigkeit des Scheitelwerts $\widehat{U}_{ind}$der induzierten Spannung von der Fallhöhe.	S 4, 6	E 4	K 6	

Gruppe D

	Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung vom Winkel abhängt.	S 4, 6	E 4	K 6	

Gruppe E

	Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Amplitude der Spannung am Widerstand abhängt.	S 4, 6	E 4	K 6	

Gruppe F

	Untersuchen Sie experimentell durch Auswerten einer sorgfältig dokumentierten Messreihe und einer grafischen Darstellung, wie die induzierte Spannung von der Frequenz abhängt. Die Frequenz soll dabei zwischen 10 Hz und 100 Hz variieren.	S 4, 6	E 4	K 6	

Die folgenden grafischen Darstellungen der Messwerte sind zu erwarten: Die Funktionsgleichungen und Bestimmtheitsmaße dienen der Orientierung der Lehrkraft. Es wird nicht erwartet, dass die Lernenden diese Angaben machen.

Gruppe A

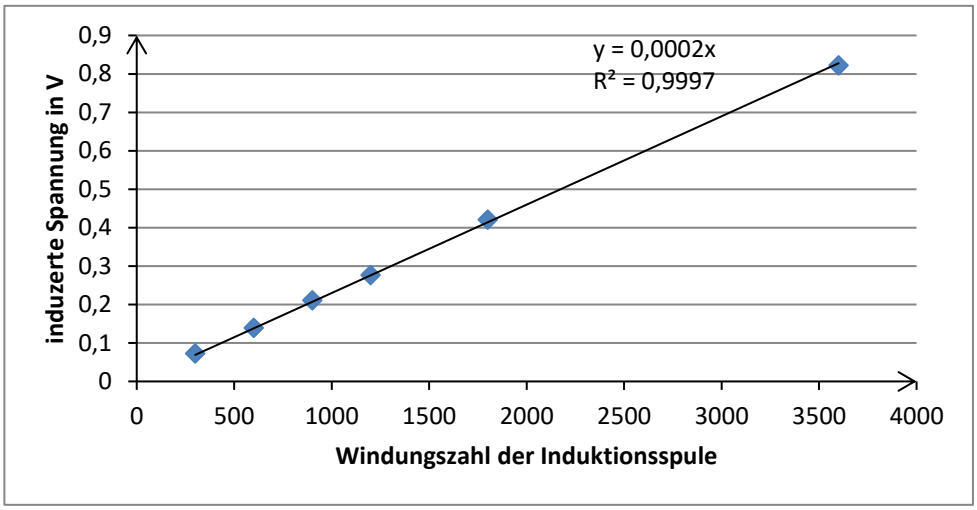

Abbildung LA: n-U_{ind}-Diagramm, IQB

Gruppe B

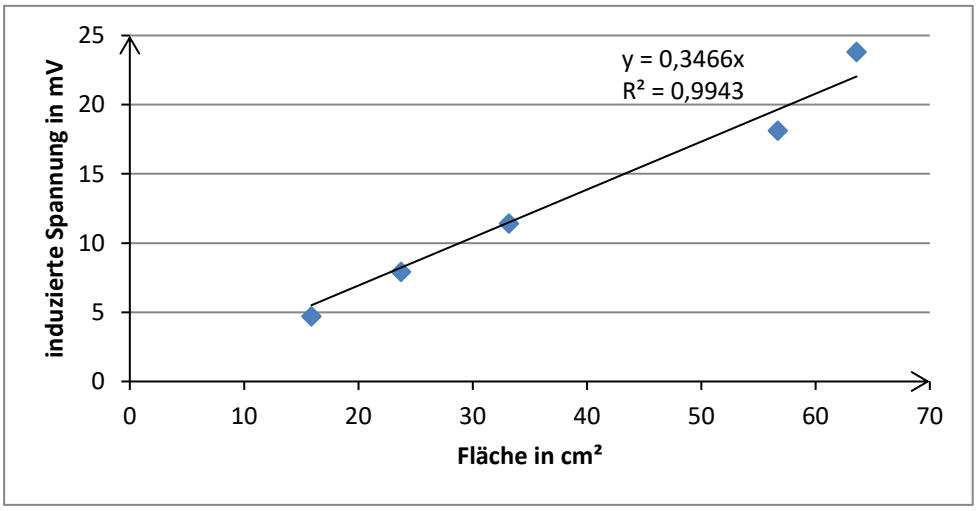

Abbildung LB: A-U_{ind}-Diagramm, IQB

Gruppe C

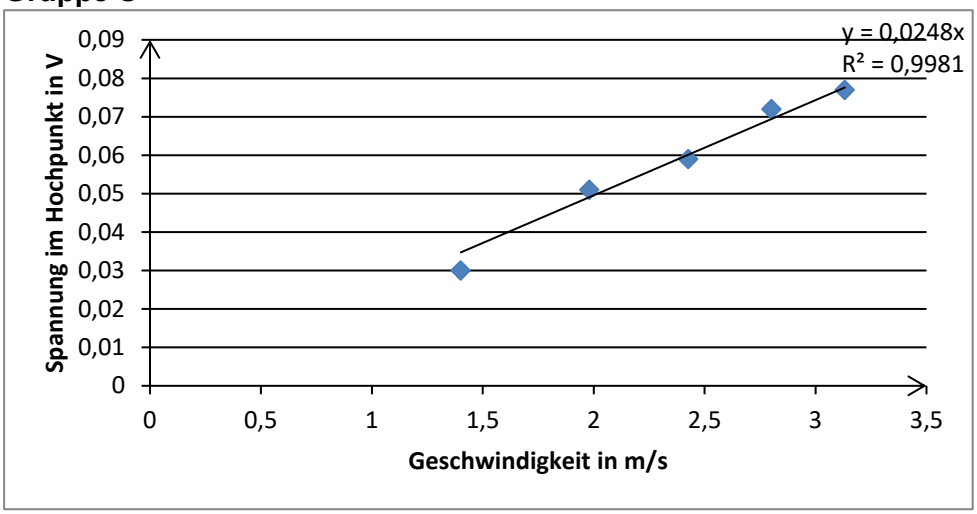

Abbildung LC: v-U_{ind}-Diagramm, IQB

Gruppe D

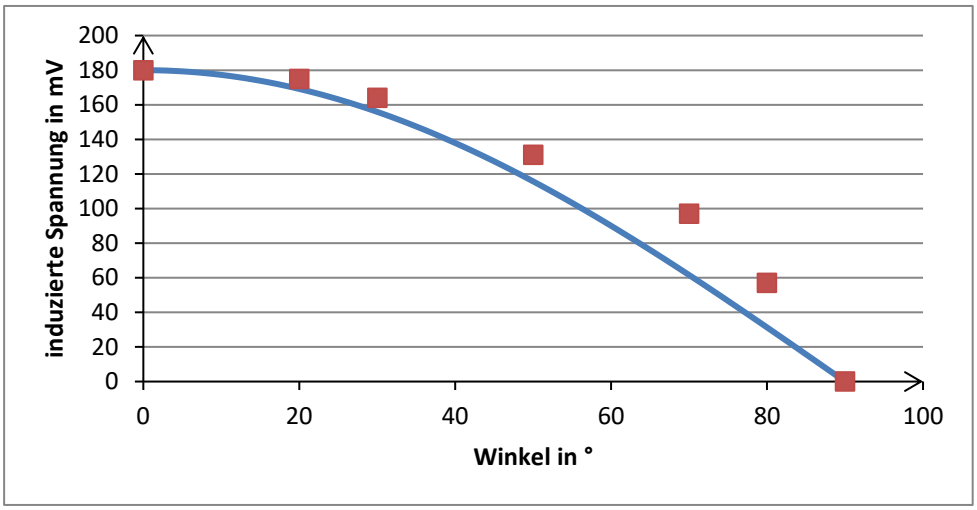

Abbildung LD: α-U_{ind}-Diagramm, IQB

Rote Punkte stellen die Daten dar, die blaue Kurve ist der Graph einer Kosinusfunktion als Regressionskurve.

Gruppe E

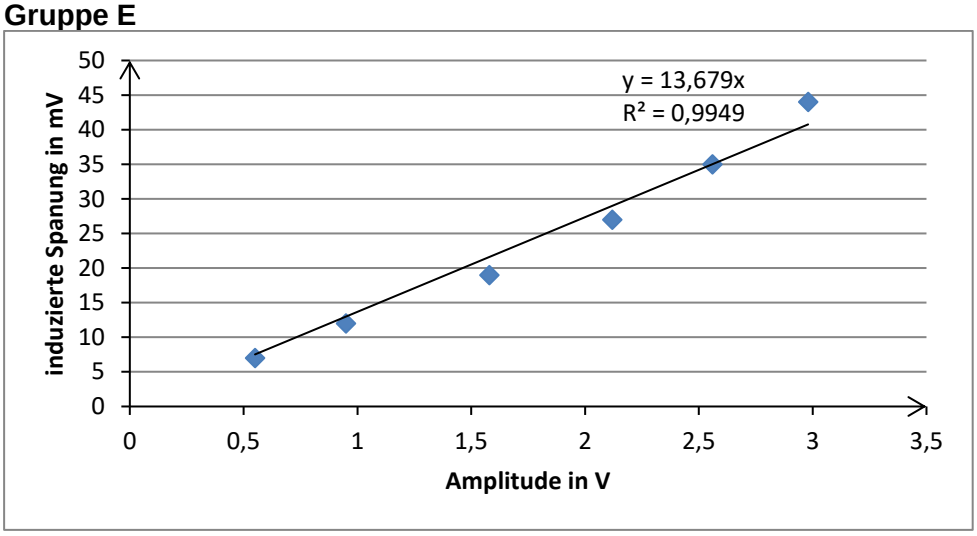

Abbildung LE: U_{max}-U_{ind}-Diagramm, IQB

Gruppe F

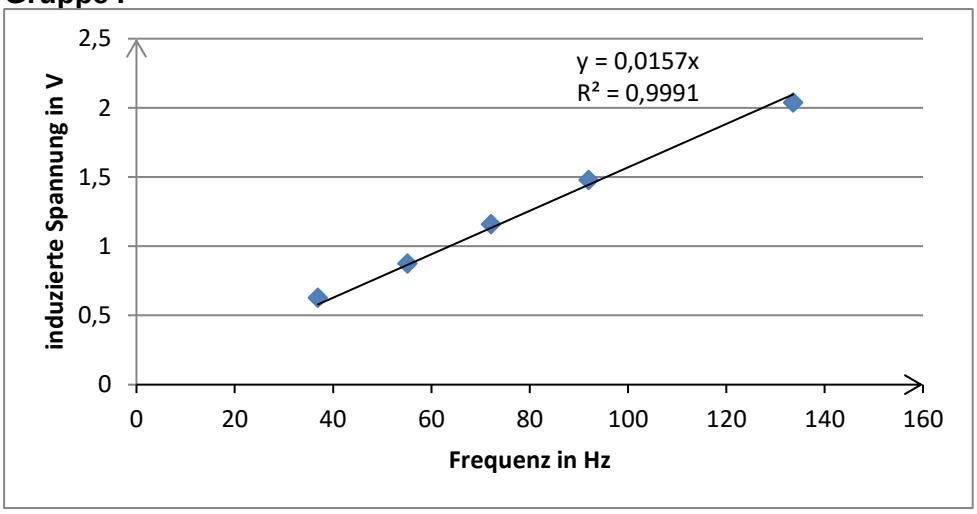

Abbildung LF: f-U_{ind}-Diagramm, IQB

2	Formulieren Sie Ihr Ergebnis in Worten.			K 4	

Die Induktionsspannung hängt von allen Größen bis auf den Winkel (Gruppe D) proportional ab. Die Abhängigkeit vom Winkel kann durch eine Kosinusfunktion beschrieben werden.

3	Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit dem Induktionsgesetz. Eine quantitative Untersuchung wird dabei nicht erwartet.		E 6		

Die Lernenden stellen durch einen Vergleich fest, inwieweit die experimentellen Ergebnisse zum Induktionsgesetz passen.

4	Wenn Sie noch Zeit haben, können Sie z. B. mit den kurzen Spulen in Ihrem Experimentiersatz und anders geformten Eisenkernen untersuchen, ob die Induktionsspannung bei gleichen Windungszahlen und gleicher Spannung (2 V) noch von bisher unbeachteten Aspekten abhängt.		E 5		

Aufgrund der Offenheit der Aufgabenstellung können hierzu keine konkreten Lösungshinweise gegeben werden. Es wird erwartet, dass der untersuchte Parameter kurz beschrieben und die Beobachtung in Wenn-dann-Form formuliert wird.

5	Bereiten Sie einen Vortrag von 5 Minuten vor, mit dem Sie die anderen Gruppen über Ihr Vorgehen und Ihr Ergebnis informieren. Gehen Sie dabei darauf ein, was Ihr Ergebnis für die oben beschriebene Anwendungssituation bedeutet		E 10	K 7, 9	

Die Lernenden bereiten einen mediengestützten Vortrag vor, in dem das experimentelle Vorgehen der jeweiligen Gruppe und ihre Ergebnisse dargestellt werden. Wichtig ist hierbei, dass die Gestaltung auf die Adressaten, also die Mitlernenden, abgestimmt ist. Schließlich beziehen die Lernenden ihre Ergebnisse auf die jeweilige Anwendungssituation zurück.

4 Quellenangaben

Alle Materialien und Abbildungen wurden im Auftrag des IQB erstellt.