

# **Eine Unterrichtseinheit zur vereinheitlichten Darstellung der elektromagnetischen Induktion**

Corinna Erfmann

# Überblick

- Unterrichtseinheit
  - Zentrale Ideen
  - Aufbau und Materialien
  - Entwicklung
  
- Evaluation
  - Testaufgaben und Ergebnisse des Fachwissenstests
  - Feedback der Lehrenden und Lernenden

# Vorstellung der Unterrichtseinheit

# Motivation

**Im Bereich der elektromagnetischen Induktion zeigt sich, dass Schülerinnen und Schüler häufig bruchstückartiges und inkonsistentes Wissen erworben haben.**

Maloney (2001), Saglam (2006) und Thong (2008), sowie eigene Erhebungen

## Zentrale Ideen

**Vereinheitlichung  
der Erklärung**

**magnetischer Fluss  
als zentrale Größe**

**qualitativer Zugang**

### **Ziel:**

Ein qualitatives Verständnis aufbauen und festigen. Dabei liegt der Fokus auf den schwächeren Schülerinnen und Schülern.

# Einheitliche Erklärungssequenz

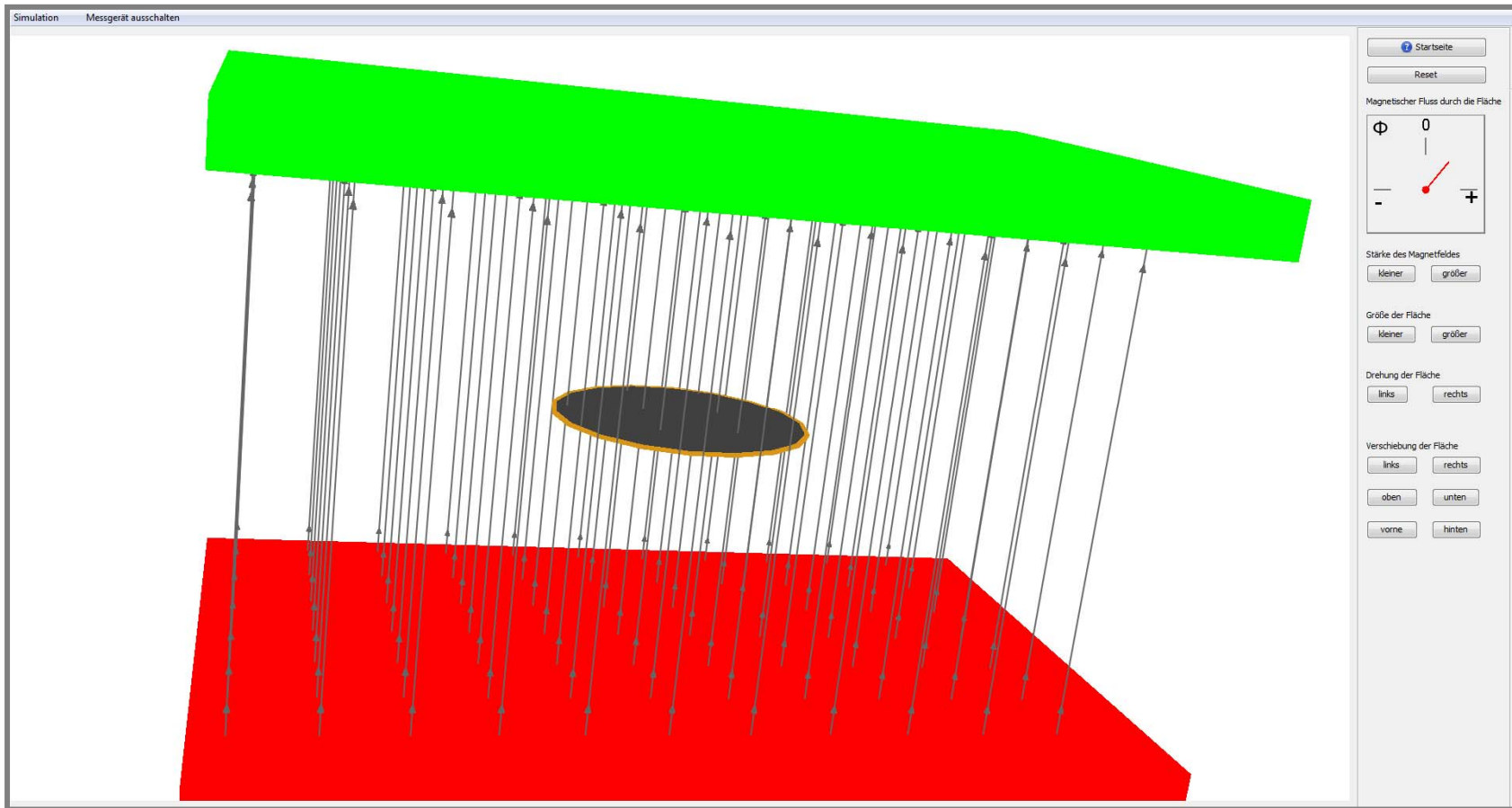
## Elektromagnetische Induktion

Es wird ein **magnetischer Fluss** durch eine von einem Leiter aufgespannte Fläche betrachtet. Während der **Änderung** des magnetischen Flusses durch diese Fläche entsteht in dem Leiter ein **elektrisches Feld**. Das elektrische Feld treibt die Elektronen im Leiter an. Im Leiter kommt es daher zu einer **Ladungsverschiebung**.

# Aufbau der Unterrichtseinheit

| Abschnitt | Inhalt  |
|-----------|---|
| 1         | Einführung des magnetischen Flusses mit dem Lernprogramm  |
| 2         | Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und erste Anwendung der Erklärungssequenz  |
| 3         | Anwendung der Erklärungssequenz in neuen Kontexten<br>Vertiefung zu Aspekten der Induktion (Einfluss des Tempos der Änderung, Stromflussrichtung des induzierten Stromes) |
| 4         | Anwendung der Erklärungssequenz im Kontext Generator  |
| 5         | Anwendung der erlernten Inhalte zur Induktion im Gruppenpuzzle (ABS-Sensor, Mikrofon u.a.)  |

# Magnetischer Fluss





## Definition magnetischer Fluss $\Phi$

Die Anzahl der magnetischen Feldlinien, die eine Fläche durchstoßen, ist ein Maß für den Betrag des magnetischen Flusses durch die Fläche.

Es gilt der Zusammenhang: Je mehr Feldlinien eine gegebene Fläche  $A$  durchstoßen, desto größer ist der Betrag des magnetischen Flusses.

Ändert sich der Richtungssinn, mit dem die Feldlinien die Fläche  $A$  durchstoßen (z. B. „von oben nach unten“ zu „von unten nach oben“), so ändert sich auch das Vorzeichen des magnetischen Flusses.

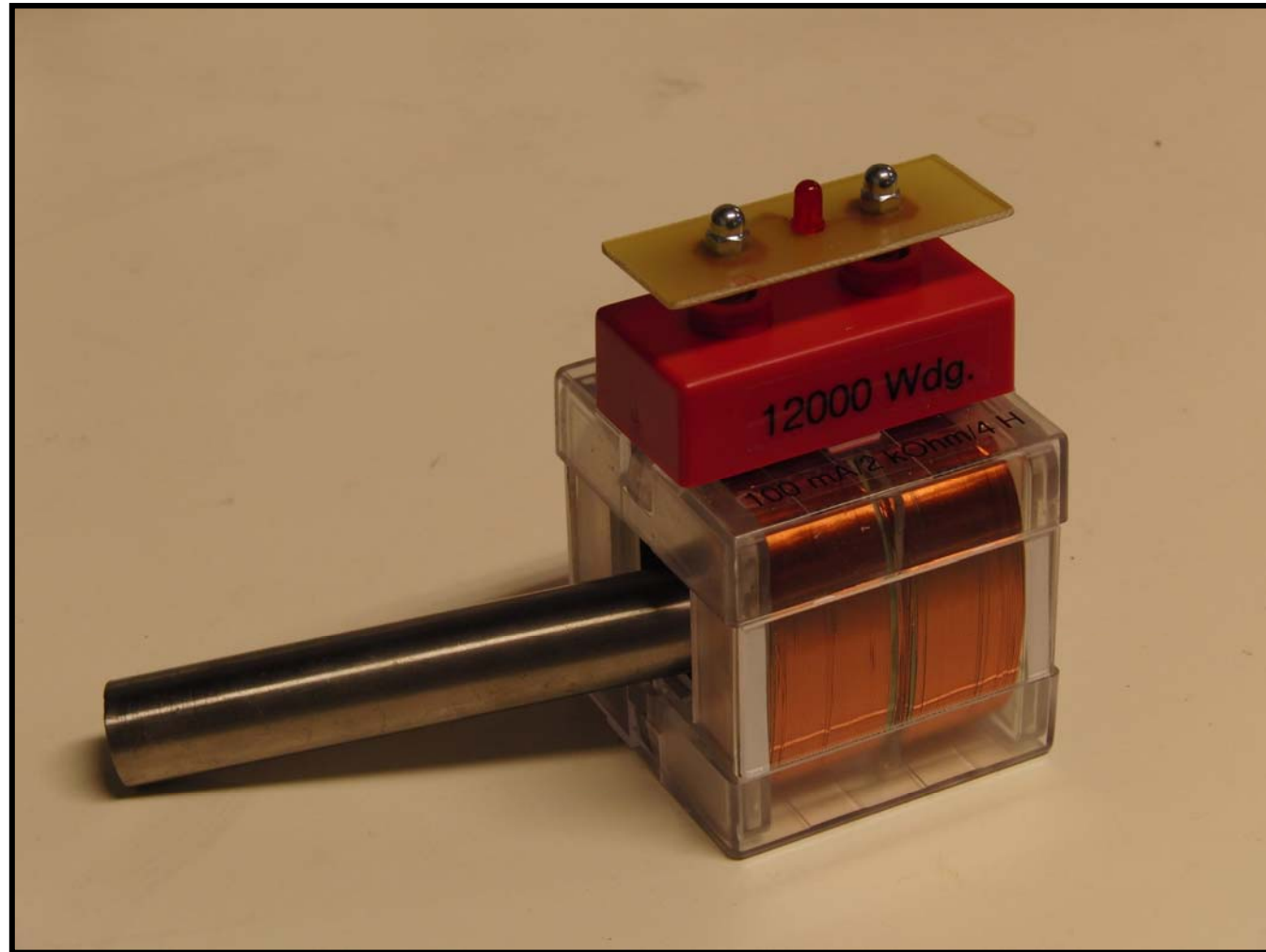
## Festlegungen zum magnetischen Fluss

- **Der Betrag des magnetischen Flusses** ist proportional zur Anzahl  $N$  der magnetischen Feldlinien, die die Fläche durchstoßen. Es gilt:  
 $|\Phi| \sim N$
- **Das Vorzeichen des magnetischen Flusses** ist  
**positiv**, wenn die Feldlinien zuerst die helle Seite der Fläche durchstoßen und  
**negativ**, wenn die Feldlinien zuerst die dunkle Seite der Fläche durchstoßen.
- 1 Magnetfeldlinie, die zuerst die helle Seite durchstößt, entspricht dem magnetischen Fluss  $\Phi_0$ .  
Für  $N = 1$  gilt also  $|\Phi| = \Phi_0$ , für  $N = 2$  gilt  $|\Phi| = 2\Phi_0$  usw.

# Aufbau der Unterrichtseinheit

| Abschnitt | Inhalt  |
|-----------|---|
| 1         | Einführung des magnetischen Flusses mit dem Lernprogramm  |
| 2         | Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und erste Anwendung der Erklärungssequenz  |
| 3         | Anwendung der Erklärungssequenz in neuen Kontexten<br>Vertiefung zu Aspekten der Induktion (Einfluss des Tempos der Änderung, Stromflussrichtung des induzierten Stromes) |
| 4         | Anwendung der Erklärungssequenz im Kontext Generator  |
| 5         | Anwendung der erlernten Inhalte zur Induktion im Gruppenpuzzle (ABS-Sensor, Mikrofon u.a.)  |

# Versuch

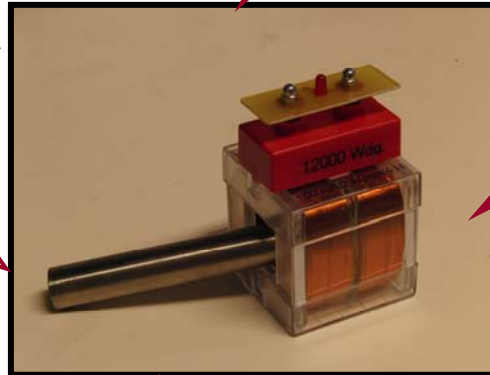


# Schüleräußerungen

Je schneller man diesen Magneten aus der Spule zieht und wieder reinschiebt, desto heller leuchtet halt diese Lampe.

Also wenn man das (*der Schüler bewegt den Magneten hin und her*) an der äußeren Seite ganz schnell macht, dann leuchtet sie sehr, sehr schwach. Aber sie leuchtet.

Wenn man einen Stift rein tut, dann passiert nichts. Also es hängt vom Magneten ab.



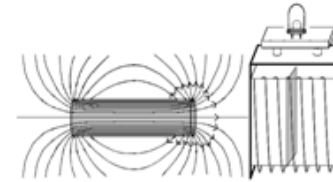
Wenn man das [den Magneten] reinsteckt, dann leuchtet die eine Seite, beim Rausziehen wieder die andere.

Also, wenn se [der Magnet] einfach nur drin ist, dann leuchtet das nicht. Aber wenn man da irgendwie schnell so durchführt, dann leuchtet das.

Wenn ich es so rum mache (*die Schülerin schiebt den Magneten in die Spule*), dann leuchtet das rechte [Licht] zuerst. Und wenn ich das so rum mache (*die Schülerin dreht den Magneten und schiebt nun den anderen Pol zuerst in die Spule*), dann leuchtet das linke [Licht] zuerst.

# Arbeitsblatt

Versuchsaufbau:



Versuchsaufbau mit eingezeichnete(r) Fläche und Feldlinien

### Aufgabe 1

Die Bilder im Filmstreifen zeigen einen Detailausschnitt des Versuches.

- Tragen Sie die Werte für den magnetischen Fluss durch die Fläche gemäß der getroffenen Vereinbarungen ein.
- Tragen Sie in die gestrichelten Kästchen die Änderung des magnetischen Flusses  $\Delta\Phi$  ein.

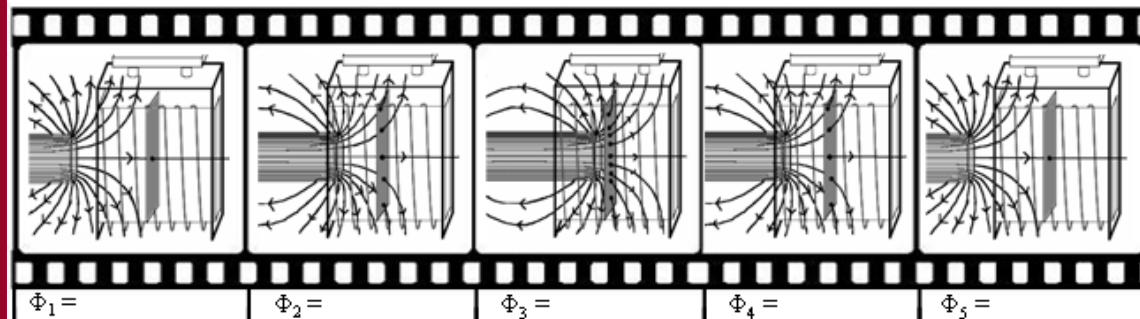
$t_1 = 0,0s$

$t_2 = 0,1s$

$t_3 = 0,2s$

$t_4 = 0,3s$

$t_5 = 0,4s$



### Aufgabe 2

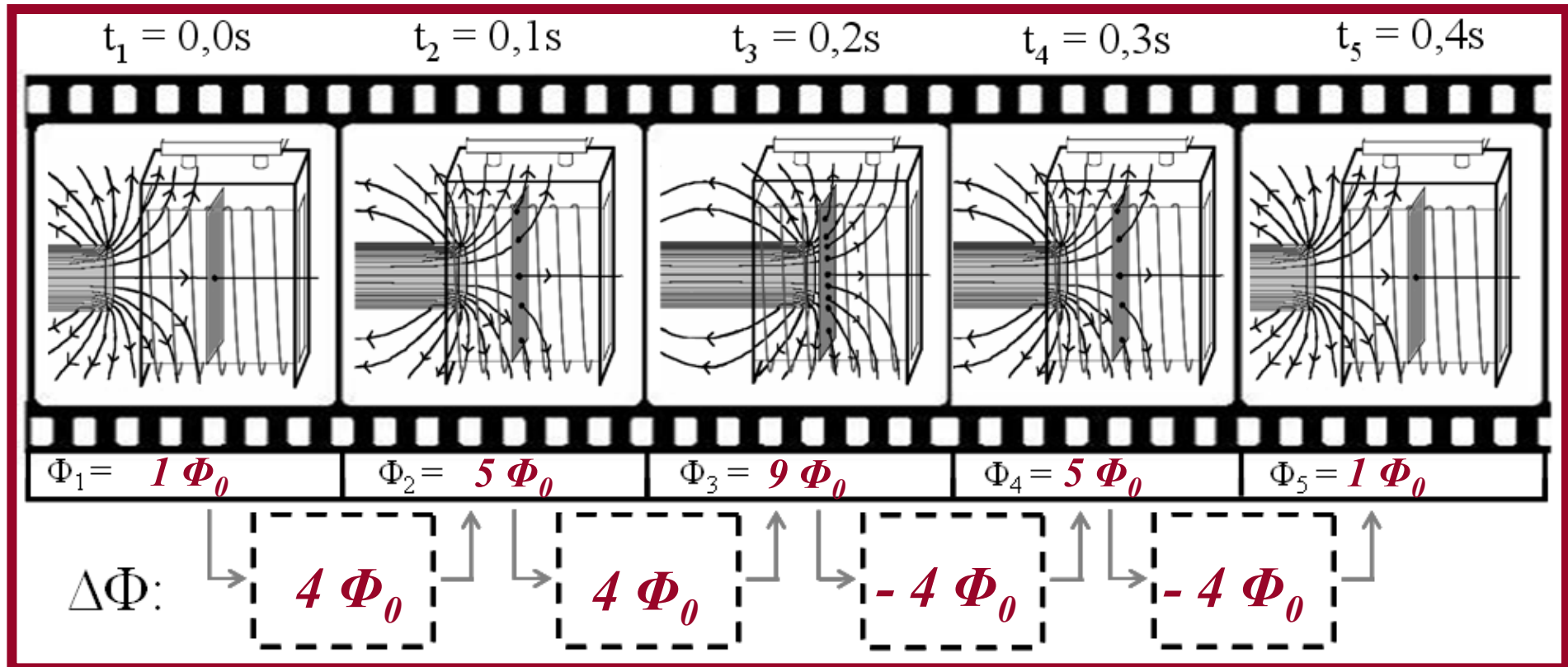
Ergänzen Sie:

*Änderung des magnetischen Flusses durch*

### Aufgabe 3

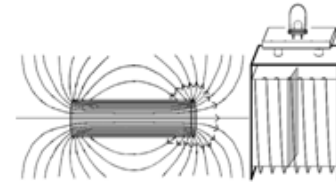
Erklären Sie, wieso die Diode leuchtet. Verwenden Sie für Ihre Erklärung die Begriffe *magnetischer Fluss, Änderung, elektrisches Feld* und *Elektronenverschiebung*.

# Filmstreifen



# Arbeitsblatt

Versuchsaufbau:



Versuchsaufbau mit eingezzeichnete Fläche und Feldlinien

## Aufgabe 1

Die Bilder im Filmstreifen zeigen einen Detailausschnitt des Versuches.

- Tragen Sie die Werte für den magnetischen Fluss durch die Fläche gemäß der getroffenen Vereinbarungen ein.
- Tragen Sie in die gestrichelten Kästchen die Änderung des magnetischen Flusses  $\Delta\Phi$  ein.

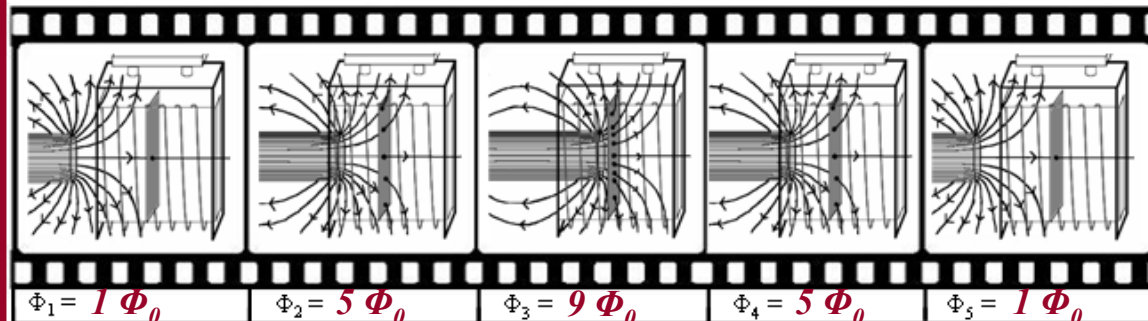
$t_1 = 0,0s$

$t_2 = 0,1s$

$t_3 = 0,2s$

$t_4 = 0,3s$

$t_5 = 0,4s$



$\Delta\Phi:$

$4 \Phi_0$

$4 \Phi_0$

$-4 \Phi_0$

$-4 \Phi_0$

## Aufgabe 2

Ergänzen Sie:

Änderung des magnetischen Flusses durch

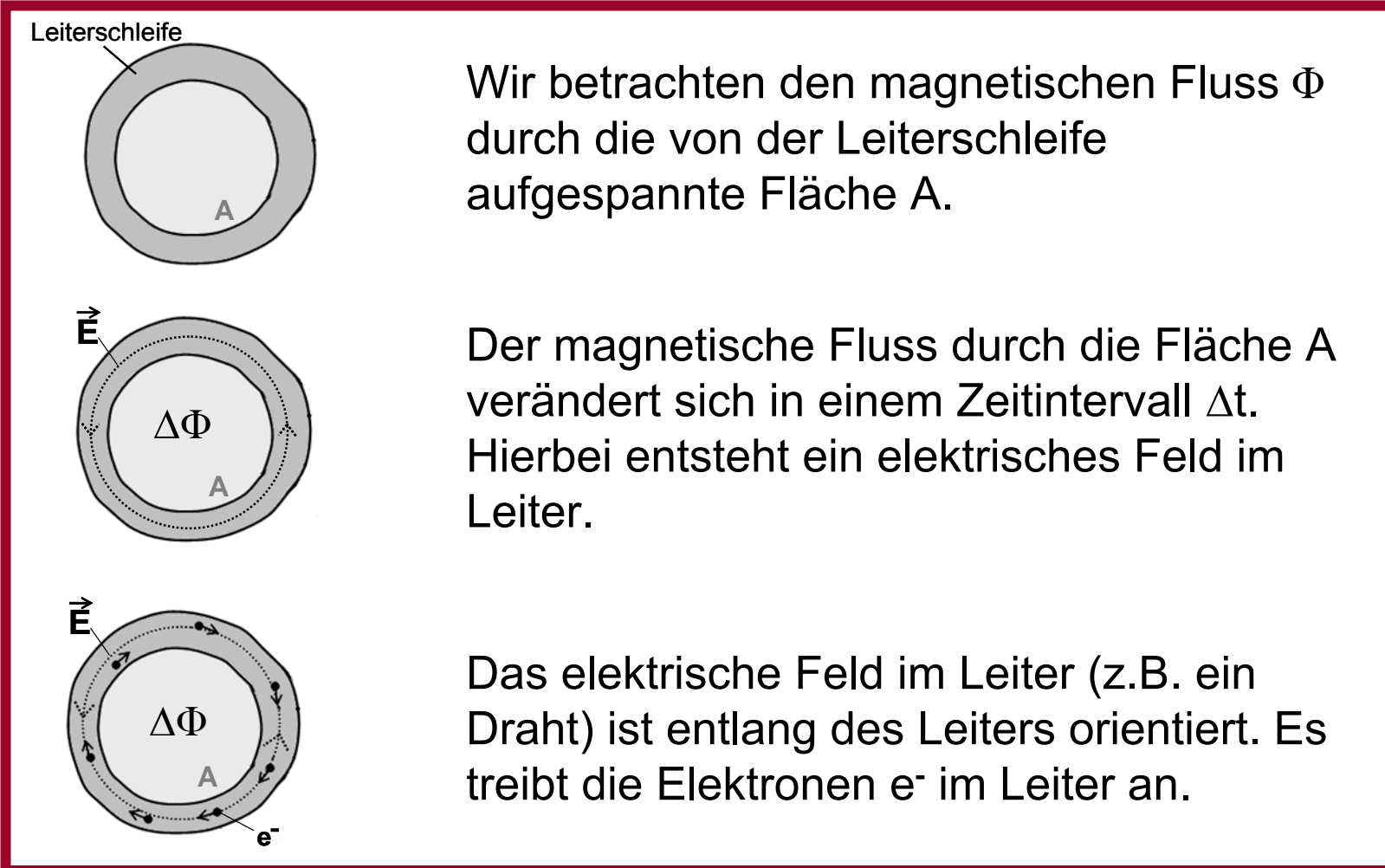
**Annähern und Entfernen des Magneten von der Spule**

## Aufgabe 3

Erklären Sie, wieso die Diode leuchtet. Verwenden Sie für Ihre Erklärung die Begriffe *magnetischer Fluss*, *Änderung*, *elektrisches Feld* und *Elektronenverschiebung*.



# Erklärung



Leiterschleife

A

$\vec{E}$

$\Delta\Phi$

A

$\vec{E}$

$\Delta\Phi$

A

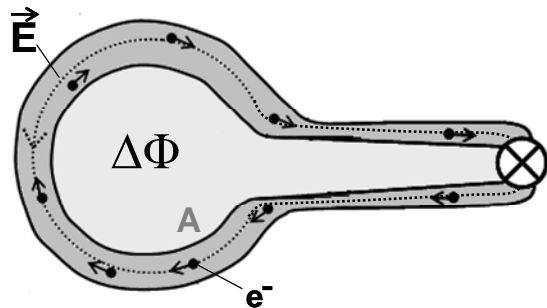
$e^-$

Wir betrachten den magnetischen Fluss  $\Phi$  durch die von der Leiterschleife aufgespannte Fläche A.

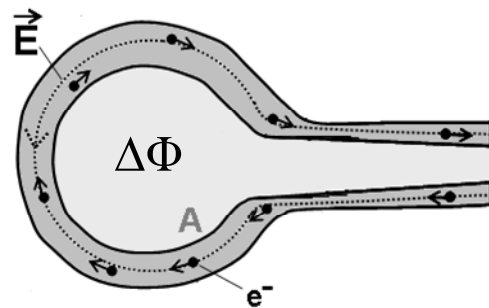
Der magnetische Fluss durch die Fläche A verändert sich in einem Zeitintervall  $\Delta t$ . Hierbei entsteht ein elektrisches Feld im Leiter.

Das elektrische Feld im Leiter (z.B. ein Draht) ist entlang des Leiters orientiert. Es treibt die Elektronen  $e^-$  im Leiter an.

# Erklärung



Im geschlossenen Stromkreis fließt ein Strom. Die Lampe leuchtet.



Ist der Leiter geöffnet, werden die Elektronen ebenfalls verschoben. An einem Ende des Leiters entsteht ein Ladungsmangel und am anderen eine Ladungsansammlung.

# Einheitliche Erklärungssequenz

## Elektromagnetische Induktion

Es wird ein **magnetischer Fluss** durch eine von einem Leiter aufgespannte Fläche betrachtet. Während der **Änderung** des magnetischen Flusses durch diese Fläche entsteht in dem Leiter ein **elektrisches Feld**. Das elektrische Feld treibt die Elektronen im Leiter an. Im Leiter kommt es daher zu einer **Ladungsverschiebung**.

# Einheitliche Erklärungssequenz

Ladungsverschiebung

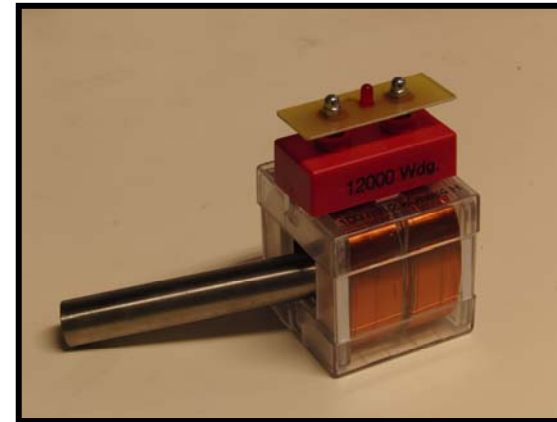
Änderung

elektrisches Feld

magnetischer Fluss

# Erklärung

## Wieso leuchtet die Diode?

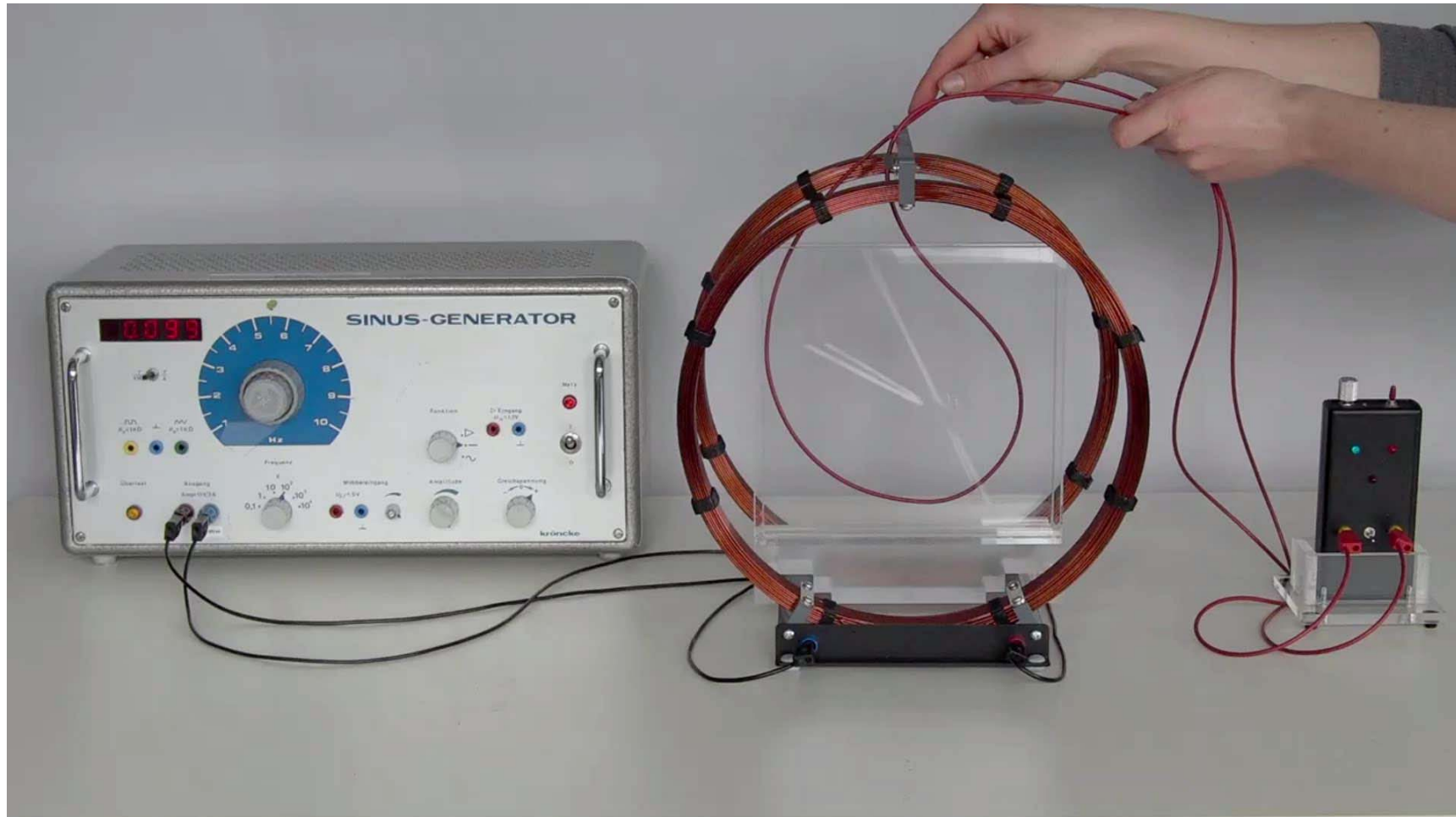


Eine Windung der Spule schließt eine Fläche ein. Wir betrachten den **magnetischen Fluss** durch diese Fläche. Während der Magnet in die Spule hinein geschoben und wieder aus ihr herausgezogen wird, verändert sich permanent der magnetische Fluss durch diese Fläche. Durch die **Änderung** des magnetischen Flusses entsteht in der Spulenwindung ein **elektrisches Feld**. Durch dieses elektrische Feld kommt es im Draht zu einer **Ladungsverschiebung**. Da der Stromkreis geschlossen ist, fließt ein Strom und die Diode leuchtet.

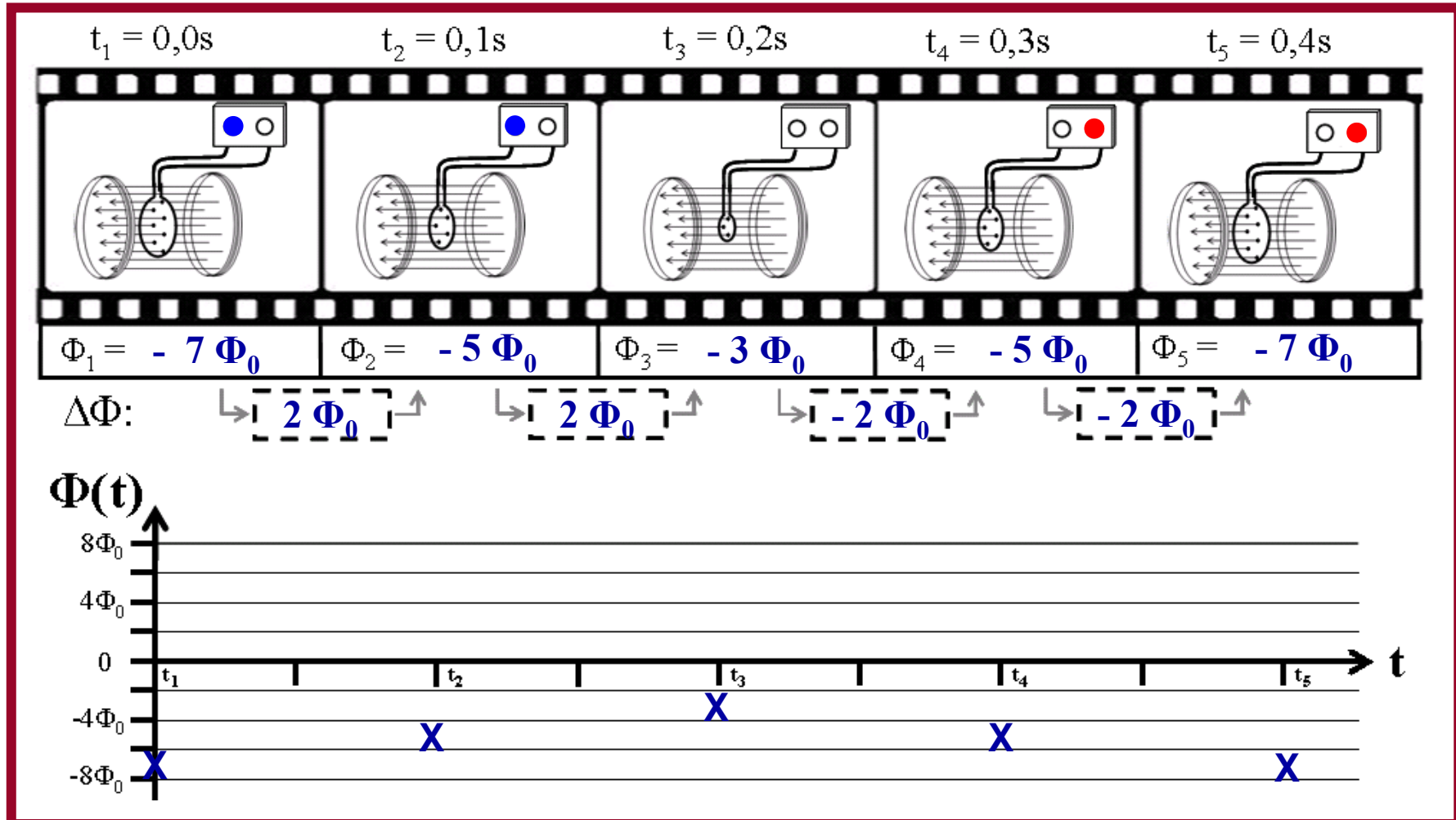
# Aufbau der Unterrichtseinheit

| Abschnitt | Inhalt  |
|-----------|---|
| 1         | Einführung des magnetischen Flusses mit dem Lernprogramm  |
| 2         | Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und erste Anwendung der Erklärungssequenz  |
| 3         | Anwendung der Erklärungssequenz in neuen Kontexten<br>Vertiefung zu Aspekten der Induktion (Einfluss des Tempos der Änderung, Stromflussrichtung des induzierten Stromes) |
| 4         | Anwendung der Erklärungssequenz im Kontext Generator  |
| 5         | Anwendung der erlernten Inhalte zur Induktion im Gruppenpuzzle (ABS-Sensor, Mikrofon u.a.)  |

# Induktion durch Verformung der Fläche

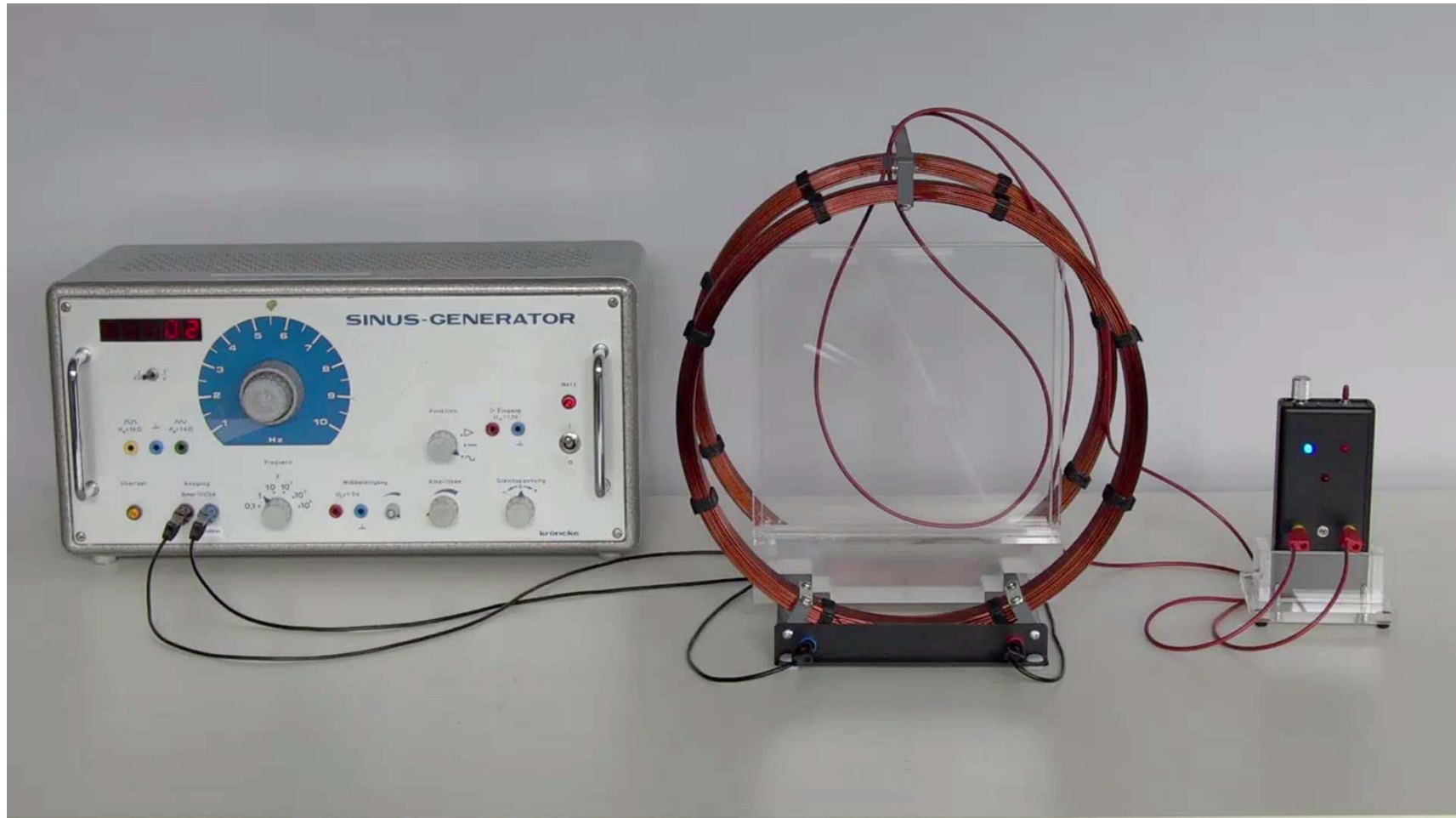


# Arbeitsblatt Stromflussrichtung





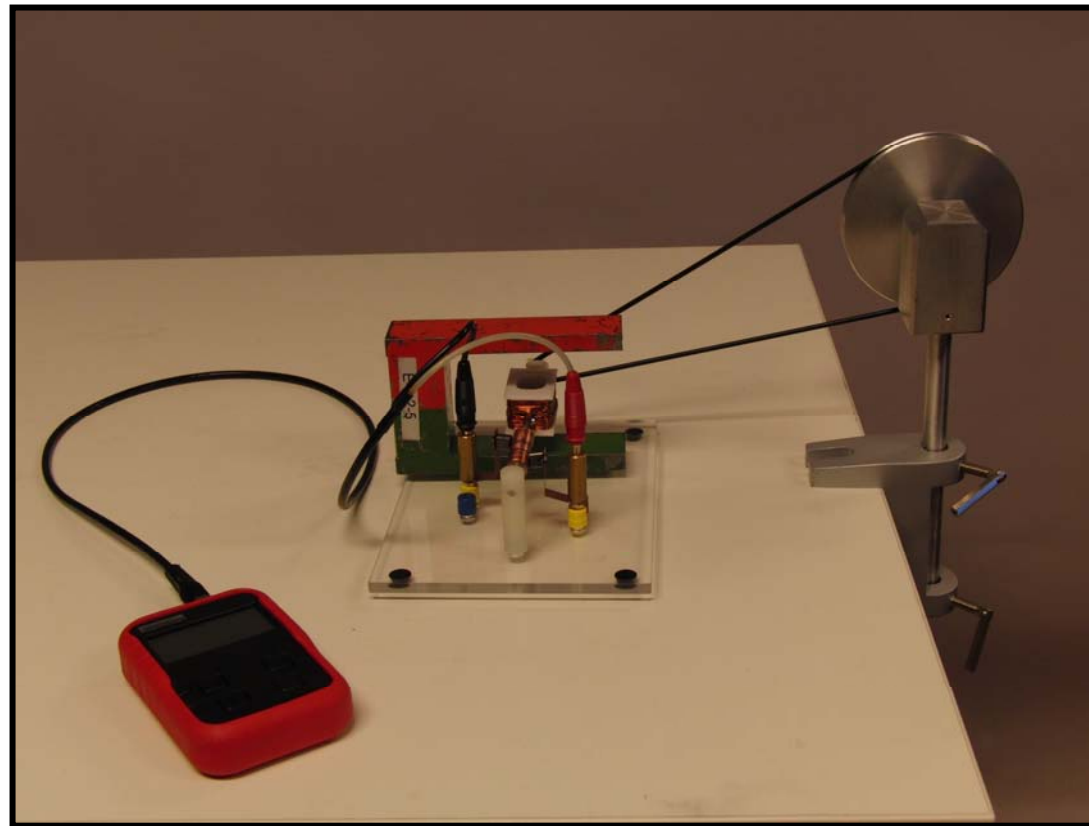
# Induktion durch Änderung des Magnetfeldes

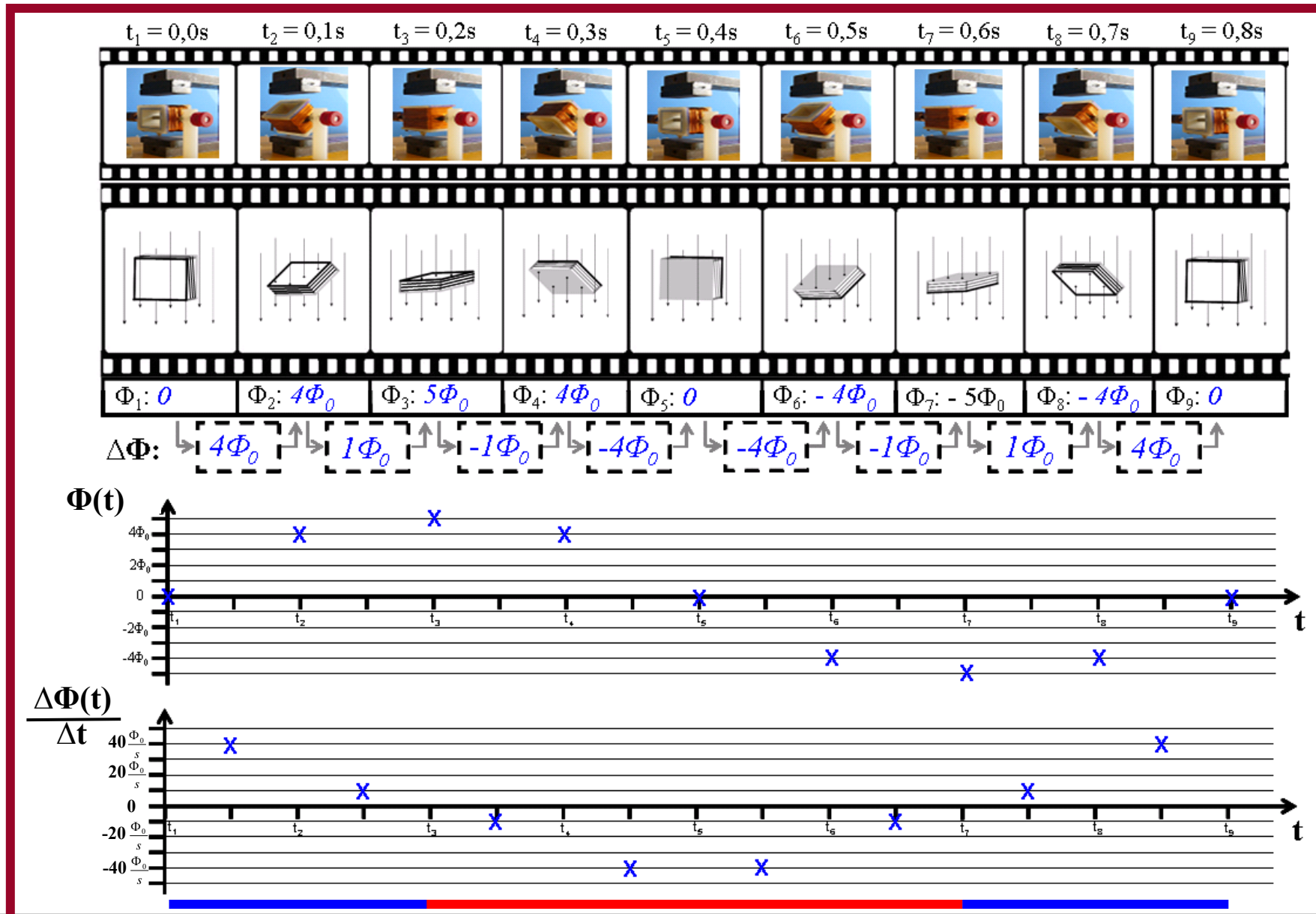


# Aufbau der Unterrichtseinheit

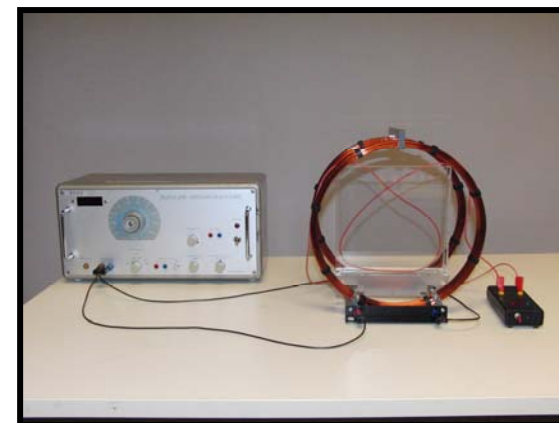
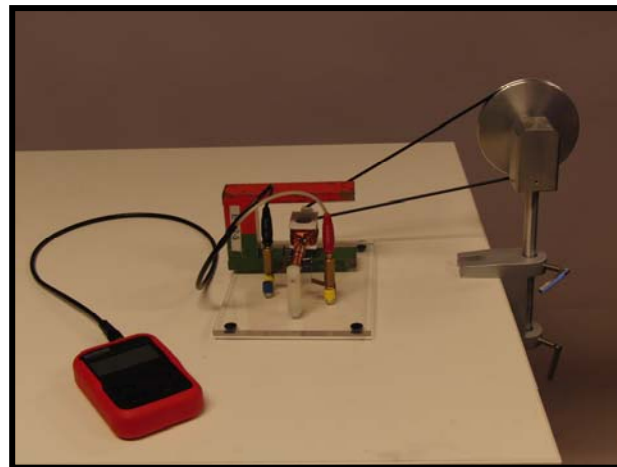
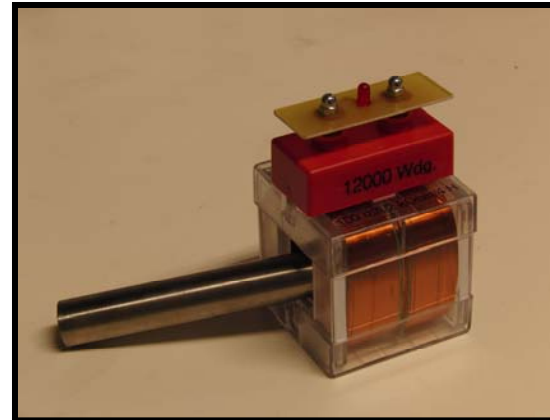
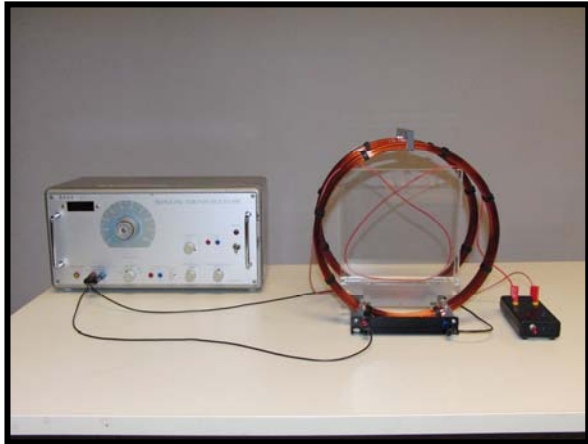
| Abschnitt | Inhalt  |
|-----------|---|
| 1         | Einführung des magnetischen Flusses mit dem Lernprogramm  |
| 2         | Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und erste Anwendung der Erklärungssequenz  |
| 3         | Anwendung der Erklärungssequenz in neuen Kontexten<br>Vertiefung zu Aspekten der Induktion (Einfluss des Tempos der Änderung, Stromflussrichtung des induzierten Stromes) |
| 4         | Anwendung der Erklärungssequenz im Kontext Generator  |
| 5         | Anwendung der erlernten Inhalte zur Induktion im Gruppenpuzzle (ABS-Sensor, Mikrofon u.a.)  |

# Induktion durch Drehen der Fläche





# Überblick Versuche

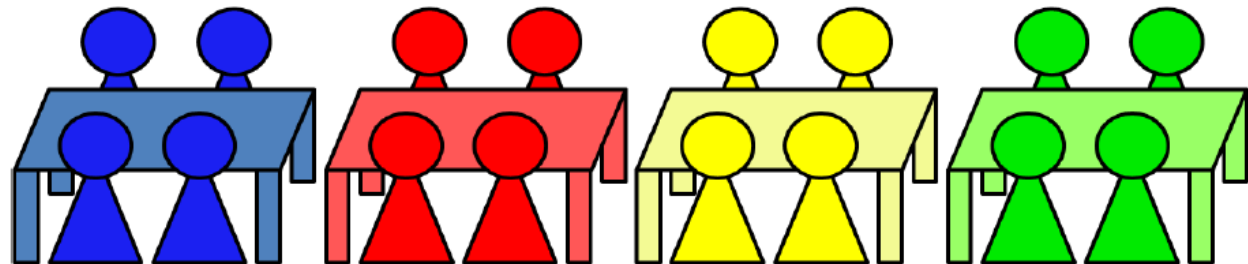


# Aufbau der Unterrichtseinheit

| Abschnitt | Inhalt  |
|-----------|---|
| 1         | Einführung des magnetischen Flusses mit dem Lernprogramm  |
| 2         | Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und erste Anwendung der Erklärungssequenz  |
| 3         | Anwendung der Erklärungssequenz in neuen Kontexten<br>Vertiefung zu Aspekten der Induktion (Einfluss des Tempos der Änderung, Stromflussrichtung des induzierten Stromes) |
| 4         | Anwendung der Erklärungssequenz im Kontext Generator  |
| 5         | Anwendung der erlernten Inhalte zur Induktion im Gruppenpuzzle (ABS-Sensor, Mikrofon u.a.)  |

# Das Gruppenpuzzle

## Expertengruppen



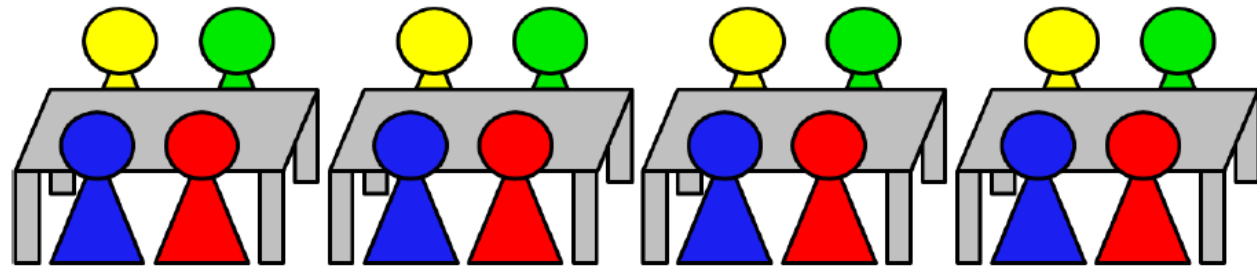
Induktion im  
Erdmagnetfeld

Elektrische  
Zahnbürste

ABS-Sensor

Mikrofon

## Unterrichtsgruppen



1

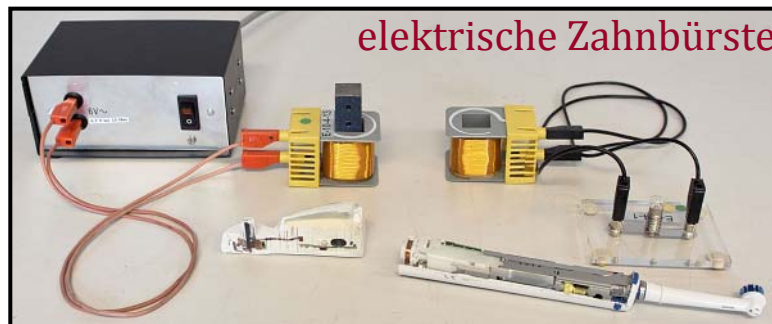
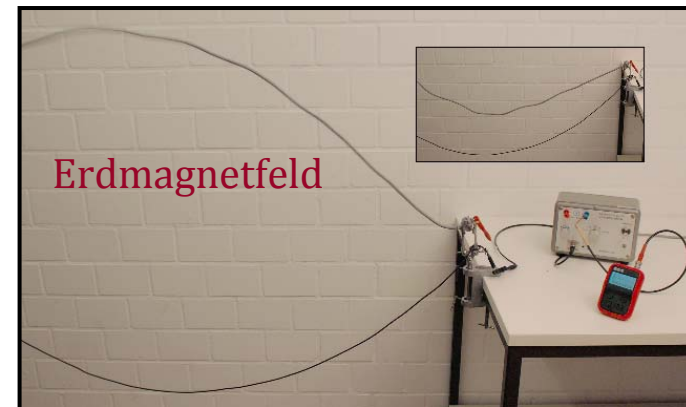
2

3

4

*Bild: Ovel, Tönnies*

# Versuche des Gruppenpuzzles



*Bild: Ovel, Tönnies*



# Materialien Gruppenpuzzle

- Aufbau der Arbeitblätter
  - Einführender Text zum Alltagsgegenstand
  - Kennenlernen des Alltagsgegenstandes
  - Kennenlernen des Modellversuchs
  - Verbindung zwischen beiden herstellen
  - Filmstreifen
  - Erklärung (Fehlertext, Textausschnitte sortieren)
- Lösungsumschläge
- A3 Filmstreifen

## Lernziele

1. Anwenden der getroffenen Festlegungen zum magnetischen Fluss.
2. Erklären der Erscheinungen der elektromagnetischen Induktion mittels der vereinheitlichten Erklärungssequenz.
3. Erläutern des Einflusses des Tempos der Änderung des magnetischen Flusses auf den induzierten Strom.
4. Benennen, in welchen Fällen sich die Stromflussrichtung des induzierten Stromes ändert.

# Ergebnisse der Evaluation

# Forschungsfragen

## **1. Wird ein fachliches Lernen im Sinne der Lernziele erreicht?**

- Auswertung der Testaufgaben
- Auswertung von Erklärungssequenzen im Gruppenpuzzle

## **2. Ist die Unterrichtseinheit für den Einsatz im Schulalltag geeignet?**

- Interviews mit Lehrerinnen und Lehrern

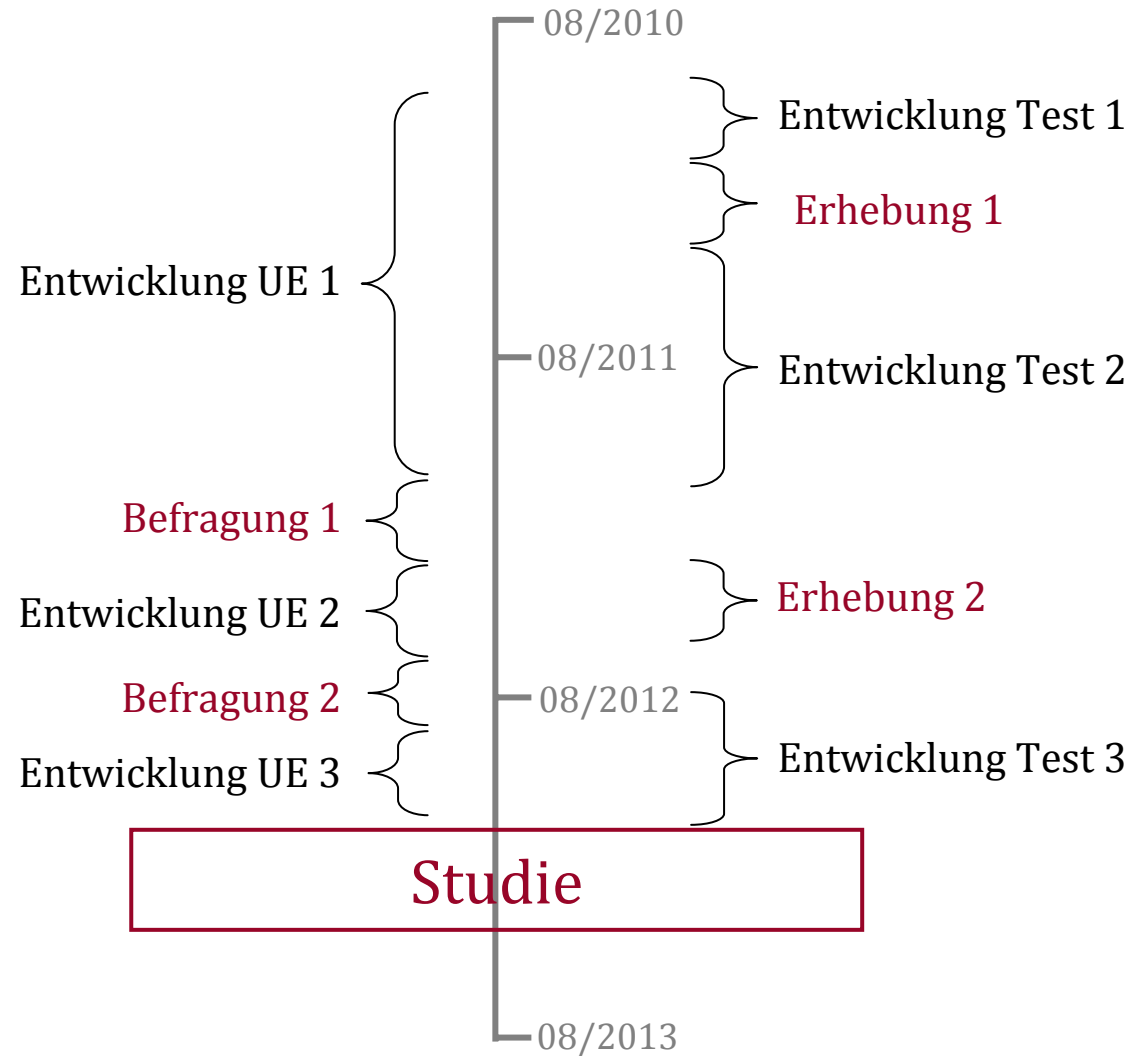
## **3. Wie gestaltet sich die Motivation der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf die Unterrichtseinheit?**

- Fragebogen

# Entwicklung

## Unterrichtseinheit

## Testaufgaben



# Testzeitpunkt

| Abschnitt | Inhalt  |
|-----------|---|
| 1         | Einführung des magnetischen Flusses mit dem Lernprogramm  |
| 2         | Erarbeitung der theoretischen Grundlagen und erste Anwendung der Erklärungssequenz  |
| 3         | Anwendung der Erklärungssequenz in neuen Kontexten<br>Vertiefung zu Aspekten der Induktion (Einfluss des Tempos der Änderung, Stromflussrichtung des induzierten Stromes) |
| 4         | Anwendung der Erklärungssequenz im Kontext Generator  |
|           | <b>Test</b>   |
| 5         | Anwendung der erlernten Inhalte zur Induktion im Gruppenpuzzle (ABS-Sensor, Mikrofon u.a.)  |

# Testaufgaben

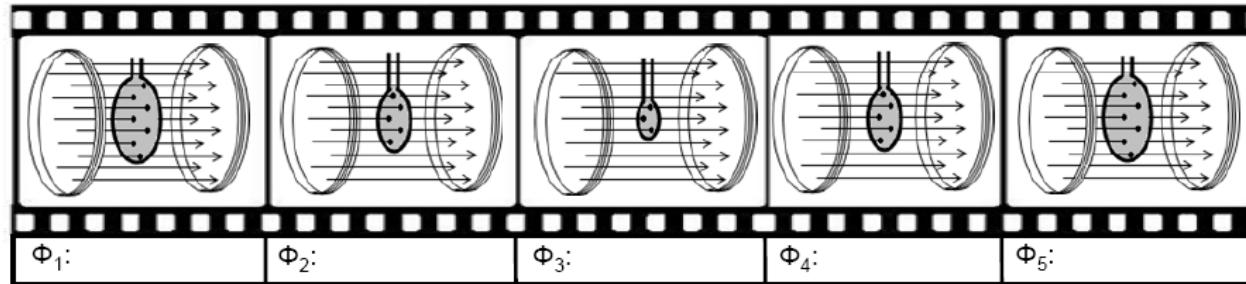
- Lernzielorientierte Aufgaben zu Aspekten der Induktion, sowie zum magnetischen Fluss.
  
- Zweistufige Aufgaben
  - Begründungen folgten aus Hinweisen aus der Literatur und eigenen Untersuchungen (Pilotstudie, Bachelorarbeit).
  - Begründungen zeigen zum Teil falsche Vorstellungen auf.

Aufgabe 2

Eine Leiterschleife befindet sich in einem homogenen Magnetfeld. Die Fläche, die von der Leiterschleife eingeschlossen wird, wird verkleinert und anschließend vergrößert.

- a) Tragen Sie die Werte für den magnetischen Fluss durch die Fläche gemäß der im Unterricht getroffenen Vereinbarungen ein.
- b) Tragen Sie in die gestrichelten Kästchen die Änderung des magnetischen Flusses  $\Delta\Phi$  ein.

$t_1 = 0,0s$        $t_2 = 0,1s$        $t_3 = 0,2s$        $t_4 = 0,3s$        $t_5 = 0,4s$



- c) Erklären Sie, weshalb es in der Leiterschleife zu einer Verschiebung der Elektronen kommt.

---



---



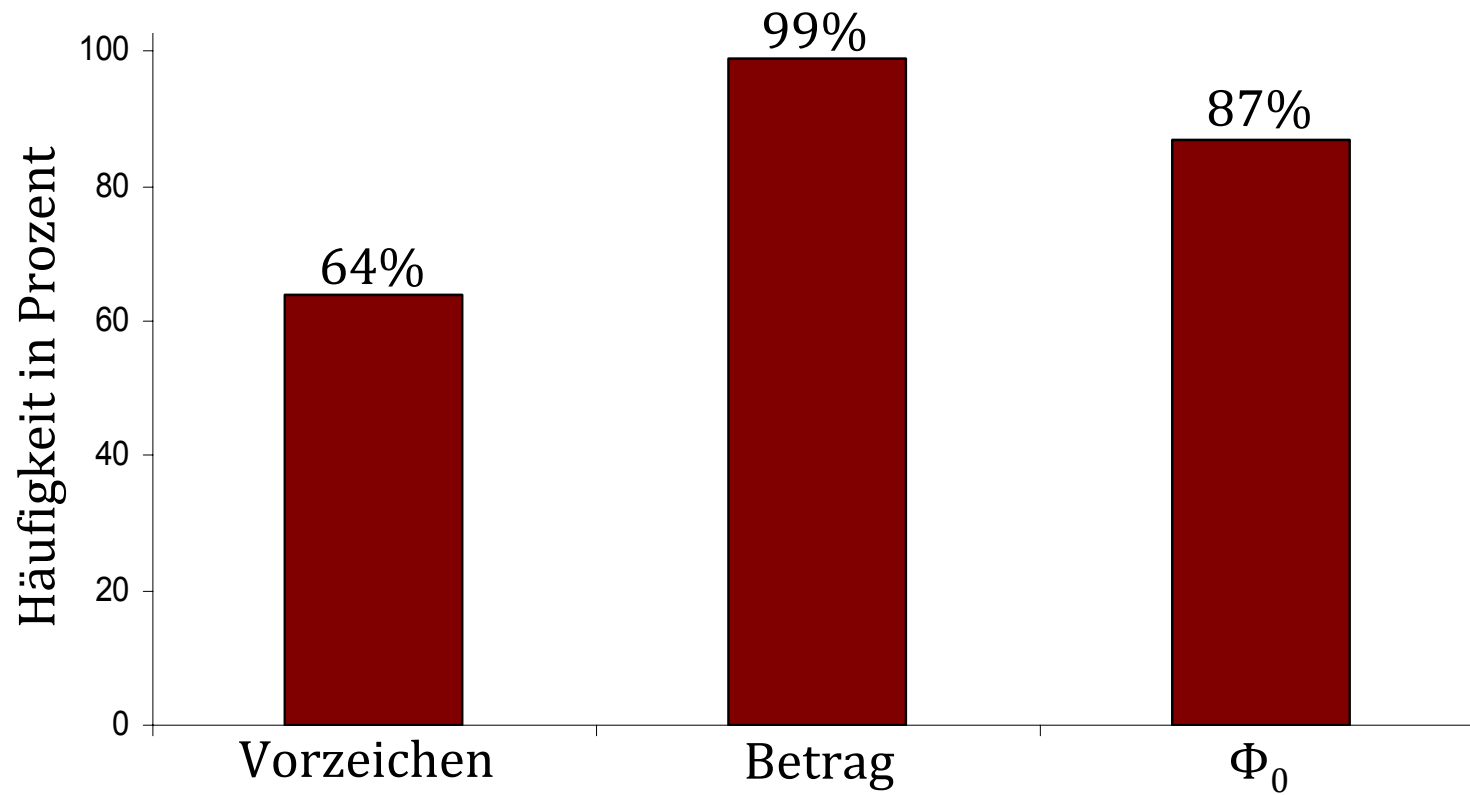
---



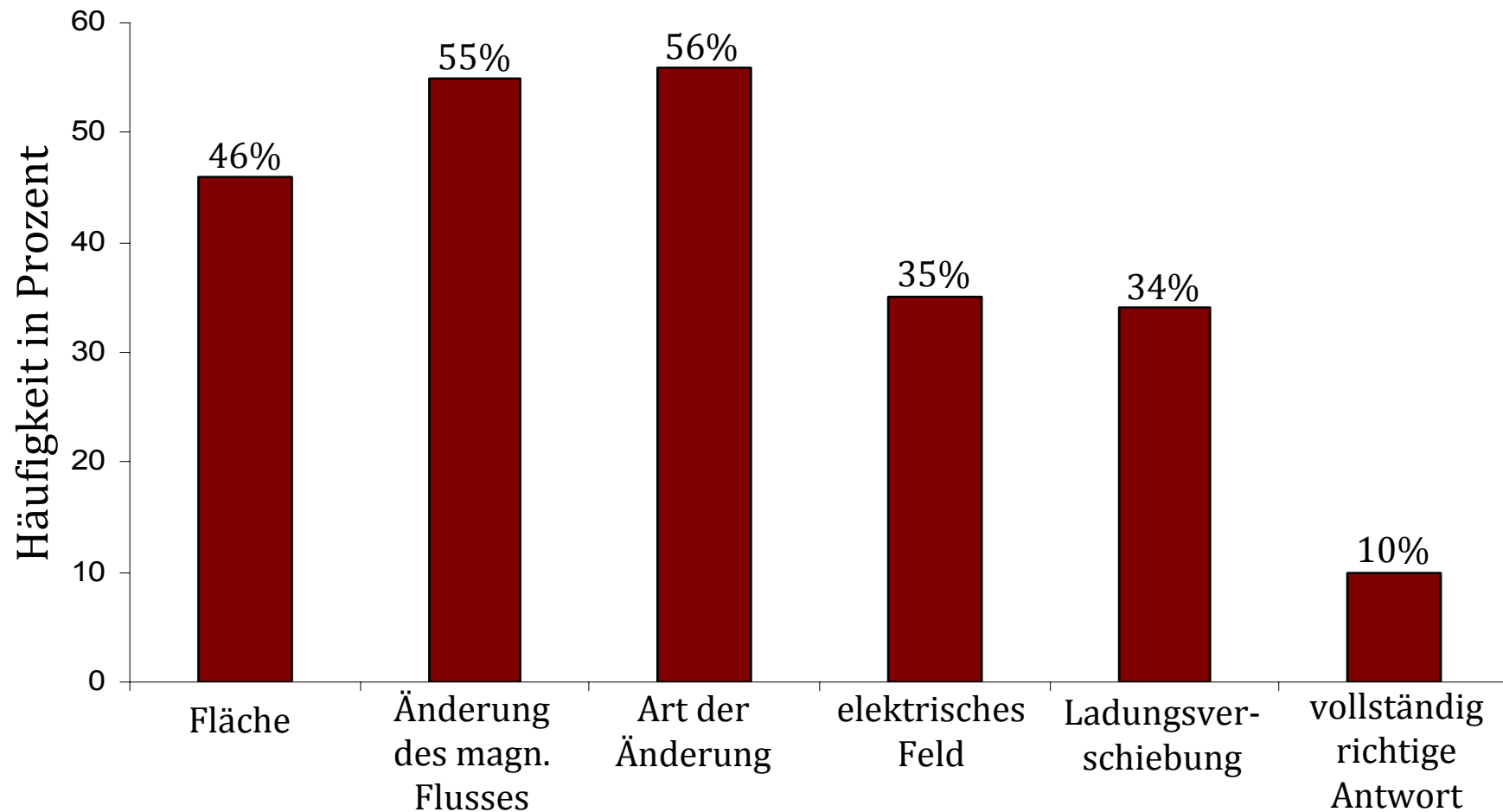
---



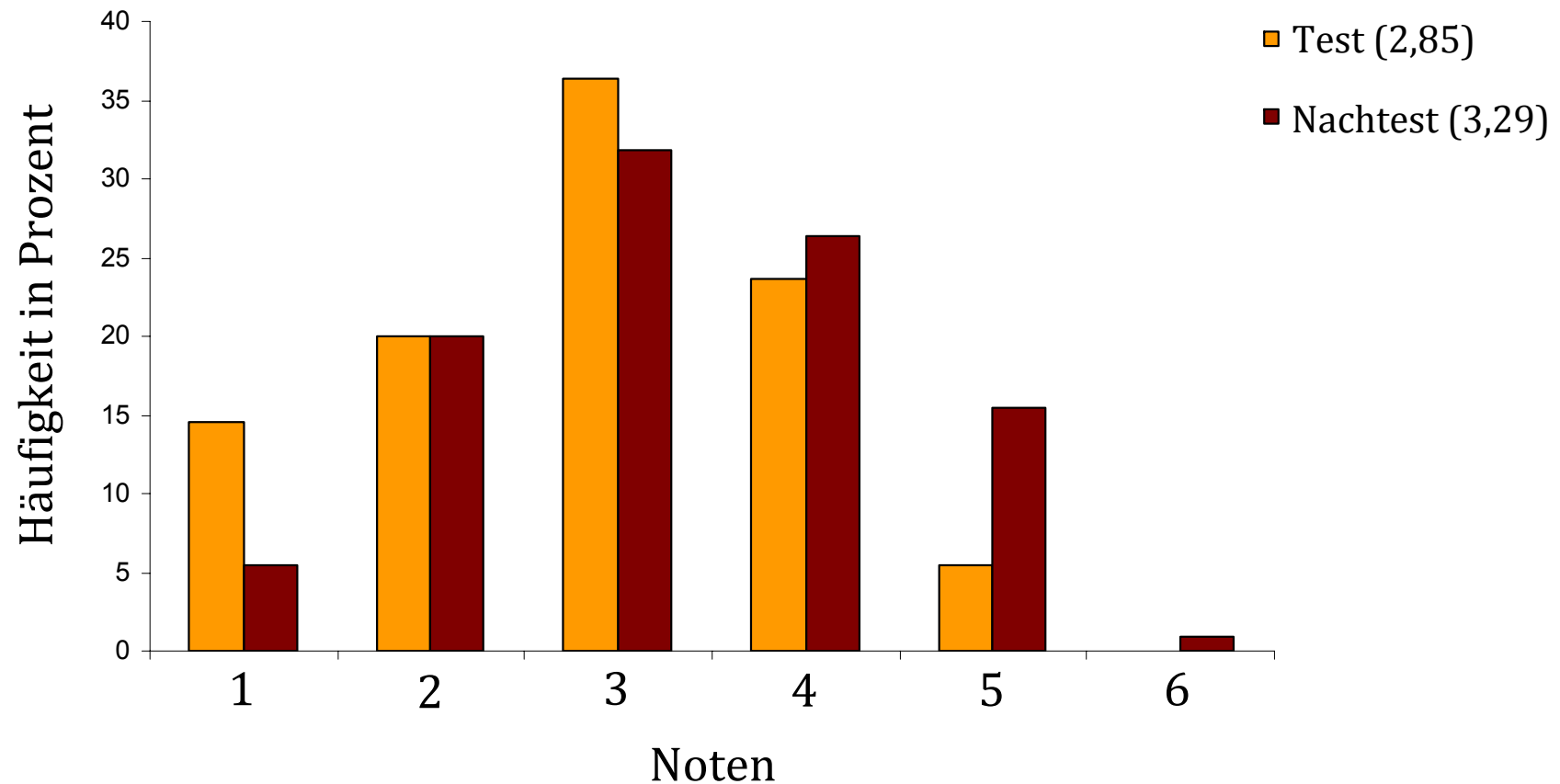
## Aufgabe 2 - Filmstreifen



## Aufgabe 2 - Erklärungssequenz

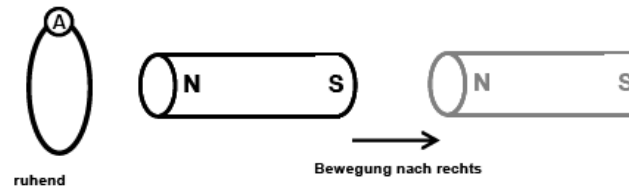


# Notenverteilung unterrichtsnahe Aufgaben



### Aufgabe 6

In der Abbildung sind ein Stabmagnet und ein Stromkreis dargestellt. Der Stromkreis besteht aus einer Leiterschleife und einem Strommessgerät (A). Der Stabmagnet wird nach rechts bewegt.



In der Leiterschleife fließt ...

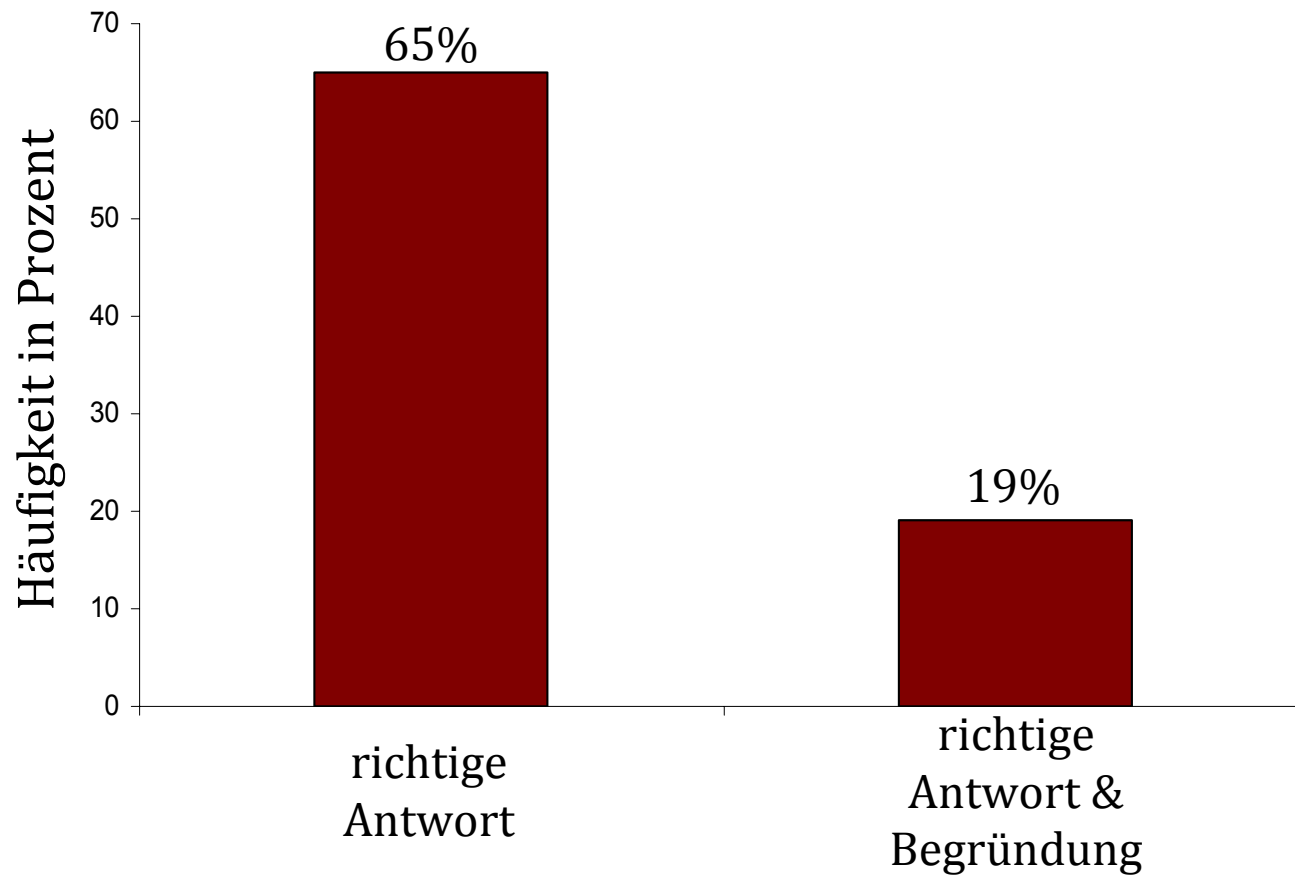
- ... nur zu Beginn der Bewegung elektrischer Strom.
- ... nur während der Bewegung elektrischer Strom.
- ... überhaupt kein elektrischer Strom.
- ... elektrischer Strom nur dann, wenn sich der Magnet weit entfernt.

Wählen Sie die Aussage, die am besten als Begründung zu Ihrer Antwort passt.

(NUR EINE AUSSAGE ANKREUZEN!)

- Der Magnet ist zu weit von der Leiterschleife entfernt, sodass keine Feldlinien die Fläche durchstoßen.
- Der Magnet bewegt sich. Jede Bewegung des Magneten führt zu einer Änderung der Anzahl der Feldlinien durch die Fläche.
- Bei einer geringen Bewegung ändert sich die Anzahl der Feldlinien durch die Fläche nicht, da keine Feldlinien die Fläche verlässt.
- Der Magnet wird von der Leiterschleife wegbewegt. Deshalb wird die Anzahl der Feldlinien durch die Fläche geringer.
- Keine der zuvor genannten Begründungen ist richtig.

## Antwortverhalten - Aufgabe 6



# Feedback der Schülerinnen und Schüler

| Was hat Ihnen gut gefallen?                           |     | Was hat Ihnen nicht gut gefallen?                 |     |
|---|-----|---|-----|
| Durchführung von (verschiedenen) Versuchen            | 47% | zu einseitig/monoton/eintönig/langweilig/ gleich  | 23% |
| Der Alltagsbezug der Experimente                      | 9%  | ständiges/häufiges Wiederholen                    | 11% |
| Gruppenarbeit   | 26% | (zu) viele Arbeitsblätter                         | 12% |
| Die Methode Gruppenpuzzle                             | 10% | (immer gleicher) (Aufbau der) Arbeitsblätter      | 12% |
| abwechslungsreicher Unterricht                        | 7%  | zu leicht/zu einfach/zu oberflächlich/anspruchlos | 8%  |
| selbstständiges Arbeiten                              | 6%  |   |     |
| (Aufbau der) Arbeitsblätter                           | 13% |   |     |
| gute/einfache/verständliche/ ausführliche Erklärungen | 13% |   |     |
| leichter Stoff/einfaches Thema/leicht verständlich    | 8%  |   |     |

# Feedback der Lehrkräfte

*Schildern Sie bitte zunächst Ihre Eindrücke von der Unterrichtseinheit!*

- **Konzept (Zählen von Feldlinien)**
  - sehr anschaulich
  - für Schwächere gut geeignet
- **Gestaltung des Unterrichts**
  - roter Faden
  - sachlogisch aufgebaut
- **Materialien**
  - gute Abbildungen
  - zu viele Arbeitsblätter
- **Versuche**
  - gute Versuche
  - Schülerversuche für die Sek. II

# Feedback der Lehrkräfte

*Schildern Sie bitte zunächst Ihre Eindrücke von der Unterrichtseinheit!*

- **Motivation zu Beginn**
  - wird gewünscht – Schütteltaschenlampe
- **Zeitaufwand**
  - Einheit dauert sehr lange
  - zu viel Stoff für den geplanten Zeitrahmen
- **Quantitativer Teil**
  - fehlt
  - es kann gut angeknüpft werden



## Feedback der Lehrkräfte

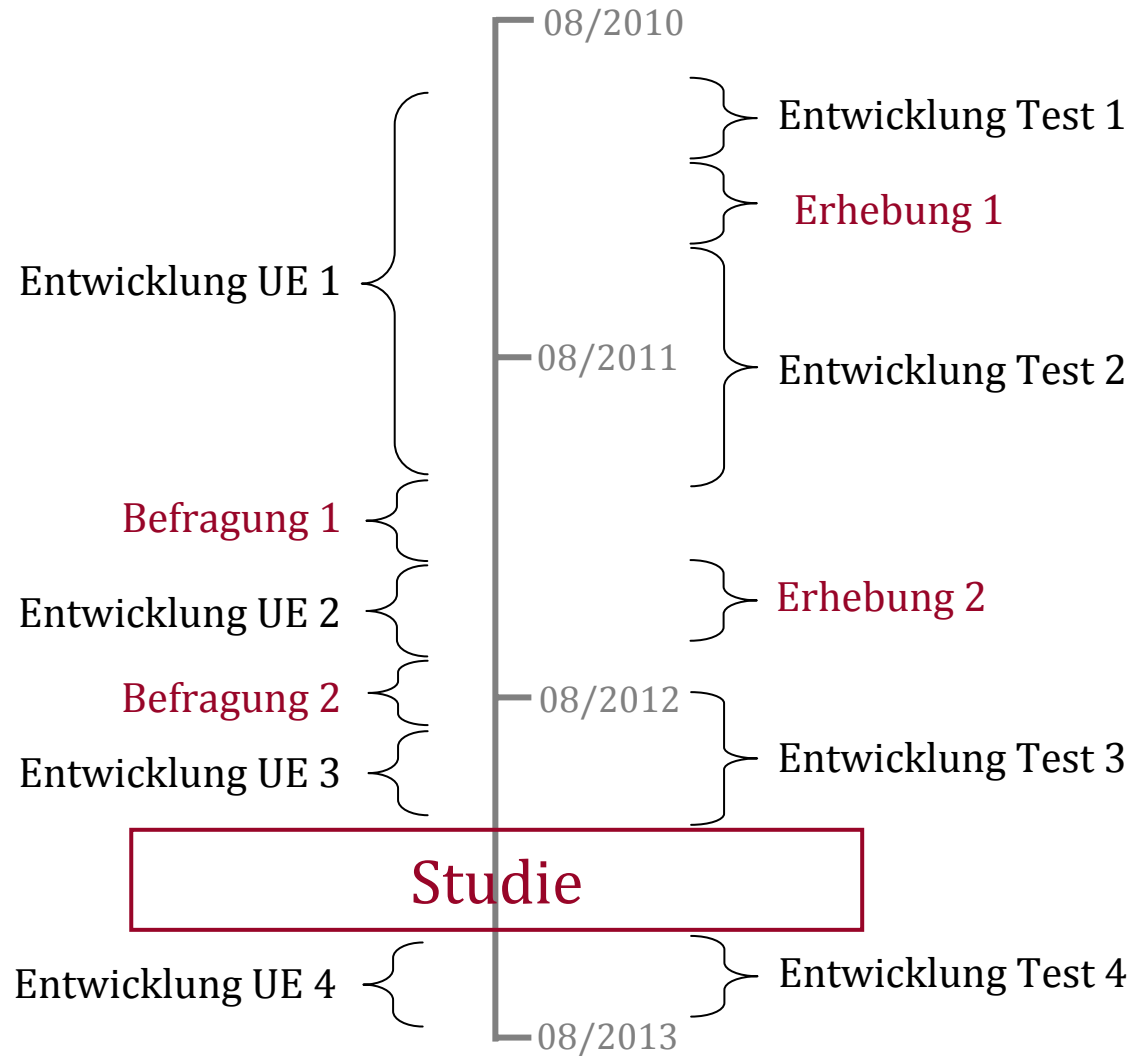
*Wie beurteilen Sie das Verhalten und die Beteiligung der Schülerinnen und Schüler während der Unterrichtseinheit?*

|   |   |
|---|---|
| keine Auffälligkeiten   | 2 |
| andere Beteiligung, entgegengesetzt                           | 3 |
| schwächere Schülerinnen und Schüler haben sich mehr beteiligt | 4 |
| davon vor allem zu Beginn des Unterrichts                     | 2 |

# Entwicklung

## Unterrichtseinheit

## Testaufgaben



## Herzlichen Dank ...

### ... an die teilnehmenden Lehrerinnen und Lehrer und ihre Kurse

**Herr Bardelmann** (Gymnasium Damme), **Herr Bröcker** (Gesamtschule Schinkel), **Frau Budke** (Gymnasium in der Wüste Osnabrück ), **Herr Eschen** (Gymnasium Damme), **Herr Flehr** (Rats-Gymnasium Osnabrück), **Herr Frenzel** (Ratsgymnasium Osnabrück), **Herr Geisler** (Angelaschule Osnabrück), **Herr Hoffmeier** (Gymnasium Oesede), **Herr Kahnt** (Immanuel Kant Gymnasium Münster), **Herr Dr. Mikosch** (Gymnasium Bersenbrück), **Herr Pues** (Ernst-Moritz-Arndt-Gymnasium Osnabrück), **Frau Rottmann** (Carolinum Osnabrück), **Herr Schröder** (Ursulaschule Osnabrück), **Herr Schwenderling** (Carolinum Osnabrück), **Herr Westermann** (Gymnasium in der Wüste Osnabrück), **Frau Wilcken** (Gymnasium Bersenbrück) & **Herr Wächter** (Carolinum Osnabrück)

### ... an die Studierenden, die an diesem Forschungsprojekt mitgewirkt haben

**Christian Hellebusch, Christian Imwalle, Frank Meiring, Markus Moormann, Thomas Ovel, Dennis Polhout, Patrick Schulte, Jan Summe, Lukas Tönnies & Hendrik Vogt**

### ... Prof. Dr. Udo Backhaus und die Arbeitsgruppe Physikdidaktik aus Bremen

### ... an meine Arbeitsgruppe

**Prof. Dr. Roland Berger, Stefan Korte, Marion Müller, Corinna Tschentscher, Daniel Schwarz & Armin Würz**

...

# Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Corinna Erfmann  
cerfmann@uos.de