

Zeichne ein Schaltbild für den vorgeführten Versuch. Beschreibe Deine Beobachtung! Warum ist diese Beobachtung verblüffend, welches Verhalten würdest Du stattdessen erwarten?

*Eine Animation dieses Experiments findest Du auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Elektromagnetische Induktion – Versuche – Selbstinduktion.***

Die Erklärung des Phänomens ist ebenso verblüffend wie verzwickelt. Beim Einschalten entsteht durch den Stromfluss in der Spule ein Magnetfeld. Die Entstehung eines Magnetfeldes führt aber zu einer Induktionsspannung und zwar in der Spule selbst (die Spule merkt nicht, ob das sich verändernde Feld von außen oder von ihr selbst erzeugt wird). Nach der Regel von Lenz ist der Induktionseffekt aber seiner Ursache entgegengesetzt, die Induktionsspannung ist also entgegengesetzt gepolt wie die angelegte Spannung, verringert diese also. Dadurch fließt zunächst nur wenig Strom durch Lämpchen und Spule. Der Anstieg der Stromstärke in der Spule verlangsamt sich nach und nach, wodurch auch die induzierte Gegenspannung kleiner wird.

4.6 Selbstinduktion

Grundexperiment

Erklärung des Grundexperiments

In einer felderzeugenden Spule wird selbst Spannung und Strom induziert, wenn sich das Magnetfeld der Spule ändert (z.B. beim Ein- und Ausschalten). Diesen Effekt nennt man **Selbstinduktion**. Nach der Regel von Lenz wirkt dieser Effekt der Feldänderung entgegen, d.h. der Aufbau des Feldes beim Einschalten wird ebenso gehemmt wie der Abbau des Feldes beim Ausschalten. Entsprechend nimmt beim Einschalten der Strom in der Spule nur langsam zu, beim Ausschalten wird er noch eine Weile aufrechterhalten.

<p>Berechne die Selbstinduktionsspannung . Die wesentlichen Schritte dabei sind hier gelistet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>verwende eine geeignete Form des Induktionsgesetzes (welche Größe ändert sich)</i> • <i>bei einer langgestreckte Spule kennen wir eine Formel für die Flussdichte, baue diese in das Induktionsgesetz ein</i> • <i>welche Größen bleiben während des Experiments konstant? (diese darf man vor das „Δ“ ziehen)</i> • <i>alle Konstanten in der nun ermittelten Formel werden zusammengefasst zu einer neuen Konstanten L (Induktivität, Einheit 1 Henry), diese hängt direkt von den Spulendaten ab</i> • <i>Vergleiche Deine Herleitung mit der Darstellung auf S. 134.</i> <p><i>Die Kernaussage der Formel besteht in der Proportionalität zwischen der Selbstinduktionsspannung und der <u>Änderungsrate der Stromstärke</u>.</i></p>	<p><u>Berechnung der Selbstinduktionsspannung</u></p>
<p><i>Eine typische Anwendung der Formel für die Induktivität findest Du in der Musteraufgabe aus S.135 oben.</i></p> <p><i>Löse S.141/28! (Der Lösungsweg entspricht der angegebenen Musteraufgabe)</i></p>	
<p>Selbst-Check:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Grundexperiment: Beobachtung und Erklärung • Induktivität 	<p><i>Die Aufgaben S.140/21 und 141/22 sind problematisch, da sich die Stromstärke bei diesen Experimenten üblicherweise nicht linear ändert. In S.142/33 wird unser Grundexperiment aufgegriffen.</i></p>

In dieser Einheit werden wir das Phänomen, das wir im letzten Experiment qualitativ beobachtet haben, nun quantitativ erfassen. Dadurch ergibt sich auch ein experimenteller Beleg für die Formel, die Du in der vorhergehenden Stunde hergeleitet hast. Der vereinfachte Stromkreis in diesem Experiment steht für den Parallelzweig mit Spule aus dem letzten Experiment. Im kombinierten Diagramm sind beide Messkurven dargestellt (beachte Achsen links und rechts).

Stelle im Schaltbild den Einbau von Spannungs- und Stromsensor an geeigneten Positionen dar.

Betrachte zunächst die rote Messkurve für den Strom und erläutere, weshalb diese mit der Beobachtung aus dem Grundexperiment in Einklang steht!

Betrachte den 1. Teil der Messkurve für die Spannung und erkläre damit den Verlauf der Stromkurve! Wie groß war dann die angelegte Spannung U_0 ?

Bestimme graphisch (so gut wie möglich) die Steigung der Stromkurve im Moment des Einschaltens und berechne damit die Induktivität der Spule! (Tipp: Formel aus der vorhergehenden Stunde)

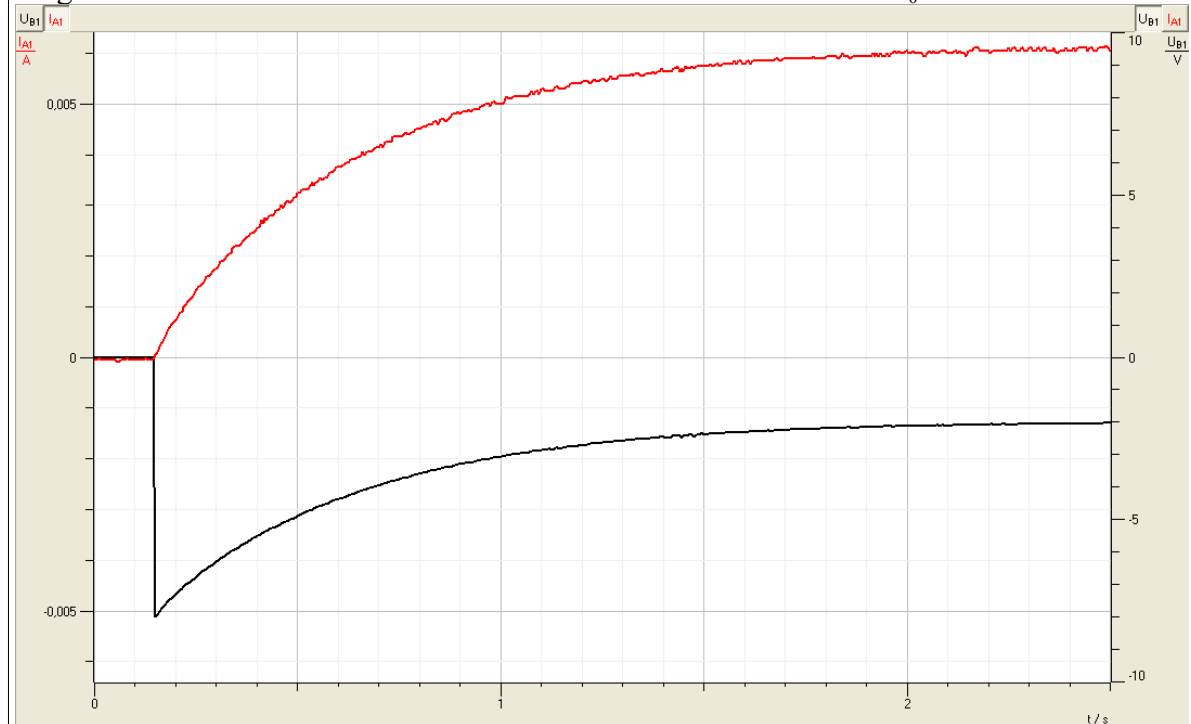
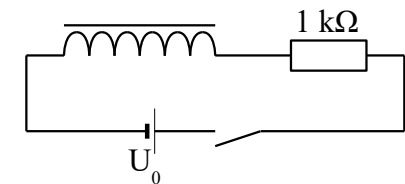
Welche Information kannst Du aus dem letzten Teil der Stromkurve gewinnen?

Warum steht der hintere Teil der Spannungskurve nicht im Einklang mit der Formel? Wie lässt sich diese Diskrepanz auflösen?

→ Lösung

Quantitative Erfassung des Einschaltvorgangs

Sowohl die Stromstärke im Stromkreis als auch die Spannung an der Spule werden beim Einschalten in ihrem zeitlichen Verlauf mit Hilfe eines Messinterfaces aufgezeichnet. → Messdatei

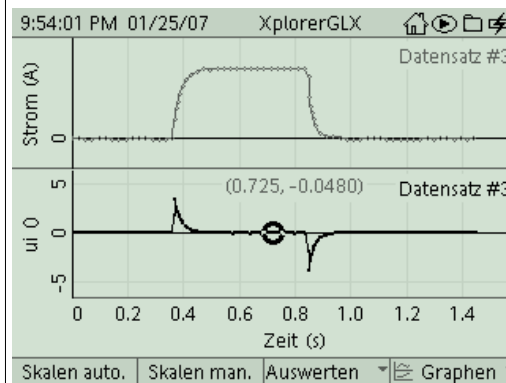


Eine Simulation des Einschaltvorgangs findet sich auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Elektromagnetische Induktion – Versuche – Selbstinduktion**.

Für die Messung des Ausschaltvorganges ist der Schaltungsaufbau komplizierter.

Beachte: Hier ist nur die induzierte Spannung U_i dargestellt. Die Spannung, die aufgrund des ohmschen Widerstandes der Spule abfällt, wurde kompensiert. Der erste Spannungsspeak zeigt hier nach oben, dies ist dem Anschluss des Spannungssensors geschuldet.

Ein- und Ausschaltvorgang



Selbst-Check:

- **Strom- / Spannungsverlauf beim Einschalten**
- **Quantitative Auswertung der Messkurven**
- **Ausschaltvorgang**

Hier gibt es ein großes Aufgabenangebot auf Leifiphysik unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Elektromagnetische Induktion – Selbstinduktion Aufgaben** sowie ... **Ein und Ausschalten von RL Kreisen Aufgaben**.

Beschreibe und erkläre Deine Beobachtung im Versuch, der hier gezeichnet ist.

Auch hierzu findet sich auf Leifiphysik eine Animation unter **Teilgebiet Elektrizitätslehre – Elektromagnetische Induktion – Versuche – Selbstinduktion**.

Stelle in allen Zweigen des Stromkreises die Richtung des Stromflusses (technische Stromrichtung) mit Hilfe von Pfeilen dar.

Dieser Effekt beim Ausschalten von Spulen kann für Messtechnik und Stromversorgung tödlich sein!

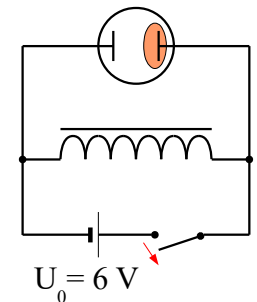
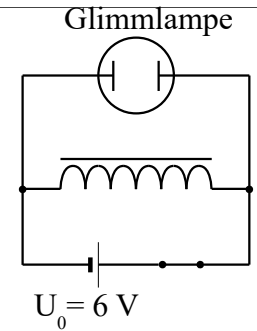
Dieser Versuch zeigt, dass im magnetischen Feld einer Spule Energie gespeichert ist, die beim Ausschalten freigesetzt werden kann.

Die felderzeugende Größe ist hier die Stromstärke I (beim Kondensator die Spannung U). L bzw. C sind jeweils die Größen, die das Bauteil definieren.

Selbst-Check:

- **Versuch: Ausschalten einer Spule**
- **Energie des magnetischen Feldes**

Spannungsspitze beim Ausschalten



Diesen Effekt nutzt man zum Zünden von Leuchtstoffröhren (siehe S.135 unten)!

Energie des magnetischen Feldes

Die Energie des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule lässt sich berechnen mit:

$$E_{\text{mag}} = \frac{1}{2} L \cdot I^2 \quad \text{wobei } L = \text{Induktivität und } I = \text{Stromstärke}$$

Beachte: Die Formel hat dieselbe Struktur wie die beim Kondensator $E_{\text{el}} = \frac{1}{2} C \cdot U^2$

Für die Anwendung der Energieformel bieten sich die Aufgaben S.141/29-31 und 34 an, die allesamt nicht schwer sind. Auf Leifiphysik weitere Aufgaben an den oben bereits angegebenen Fundstellen (die Kuh-Aufgabe gab's sogar im Abit)