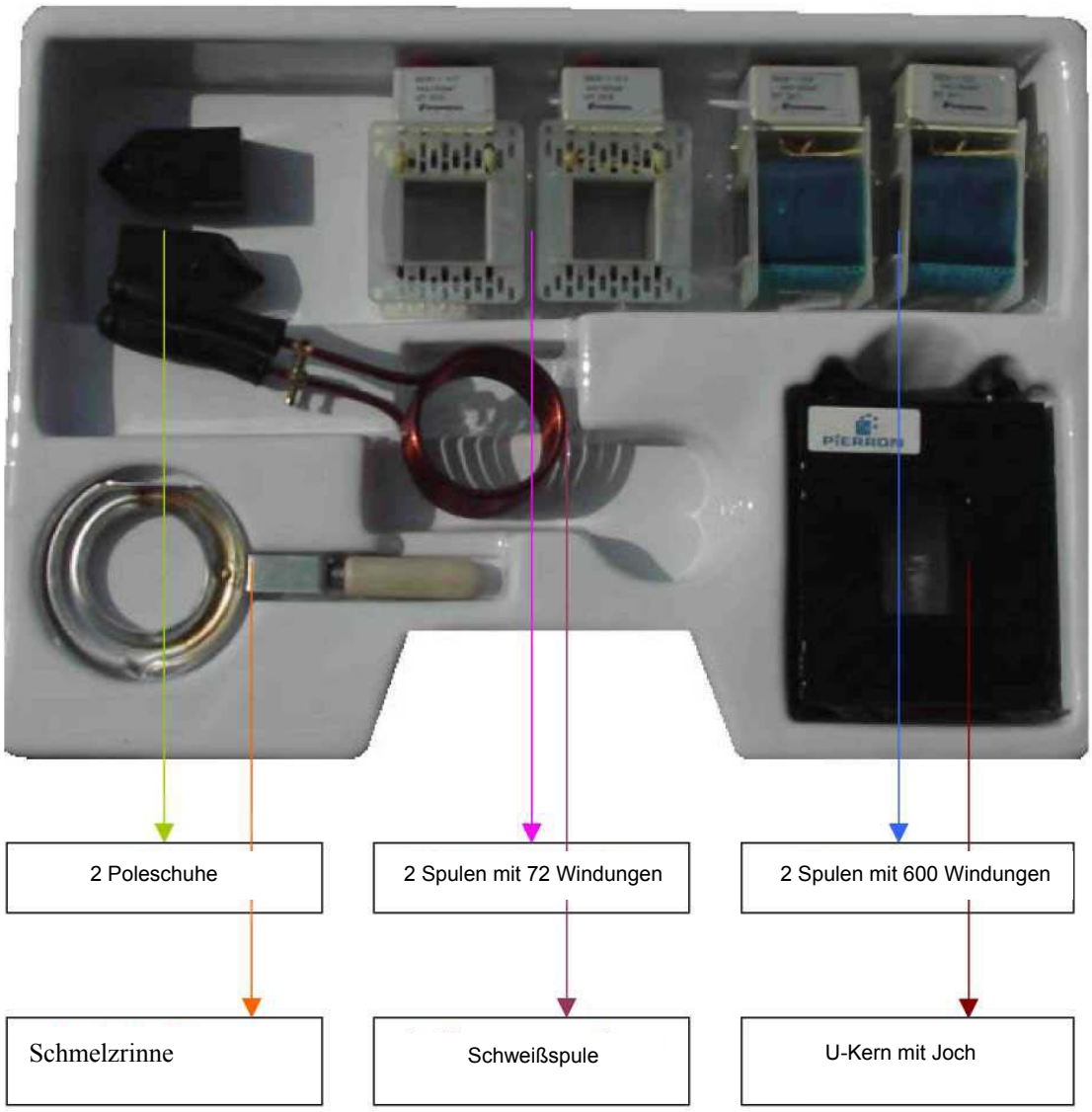
# Aufbautransformator Transfodemo® 2

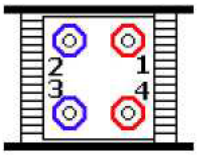
Best.- Nr. 2003099



Die Spulen weisen folgende technische Daten auf:

Spule mit 72 Windungen, 2003976

Technische Daten:
- 72 Windungen
- 0,18 mH
- I max.: 4 A
- Drahtdurchmesser: 1,4 mm

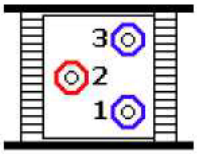



Anschlüsse:

| Klemmen | 3 – 4 | 2 – 3 | 1 – 2 | 1 – 4 |
|---|---|---|---|---|
| Windungen | 18 | 24 | 30 | 72 |

Spule mit 600 Windungen, 2003970

Technische Daten:
- 600 Windungen
- 12 mH
- I max.:0,8 A
- Drahtdurchmesser: 0,65 mm




Anschlüsse:

| Klemmen | 1 – 2 | 2 – 3 | 1 – 3 |
|---|---|---|---|
| Windungen | 200 | 400 | 600 |

Der Koffer enthält zwei Spulen jeder Sorte; der Widerstand der **Spule mit 72 Windungen** liegt bei ca. **0,30 Ω**, ihre maximale Betriebsspannung beträgt **12 V**. Die **Spule mit 600 Windungen** hat einen Widerstand von ca. **5,80 Ω**, und ihre maximale Betriebsspannung beträgt **110 V**.

**Achtung:** **Wenn man Spannungen über 30 V eff. oder eine Spitzenspannung von 42,4 oder 60 V Gleichspannung nutzen muss, ist unbedingt auf eine Umgebung zu achten, in der der Anwender vor Stromschlägen geschützt ist: absolut sichere Litzen, absolut sichere Hülsen, Differentialtastkopf für das Oszilloskop, Messgeräte der Klasse II.**

## THEMENVORSCHLÄGE

1. **Elektromagnetische Induktion**
2. **Anwendungsgebiete für das Phänomen der Induktion**

2.1 Einphasentransformator
2.2 Funktionsprinzip des Wechselstromgenerators
2.3 Foucault-Ströme

3. **Selbstinduktion**

3.1 Experimenteller Beweis
3.2 Messung der Induktivität

4. **Metallschmelze**
5. **Schweißen**

# 1. Elektromagnetische Induktion

## 1.1 Experimenteller Beweis

**Verwendetes Material:im Koffer**

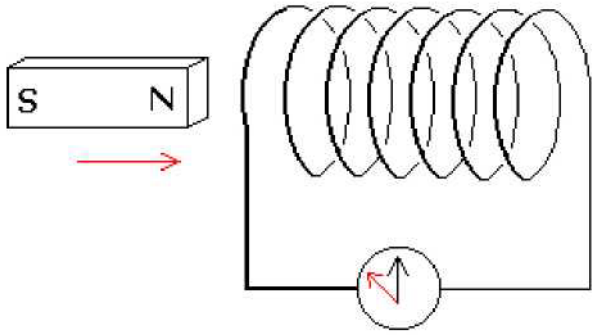
die beiden Spulen mit 600 Windungen
ein Weicheisenkern

**zusätzlich**
ein Amperemeter mit Nadel und Mittennullpunkt
ein Dauermagnet in Stabform
ein Voltmeter
ein Oszilloskop

**Varianten**
eine 12-V-Gleichstromversorgung
ein Schalter
ein Niederfrequenzgenerator

**Vorgehensweise:**

- Verbinden Sie die Klemmen 1 und 3 der Spule mit dem Amperemeter mit Mittennullpunkt.

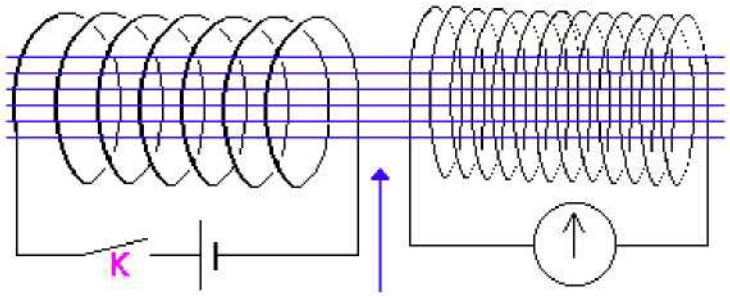



- Führen Sie mit schneller Bewegung den Stabmagneten in die Spule ein; Sie werden feststellen, dass das Amperemeter entweder nach links oder nach rechts ausschlägt.
- Ziehen Sie den Stabmagneten aus der Spule zurück; Sie werden feststellen, dass die Nadel in die umgekehrte Richtung ausschlägt.
- Beginnen Sie noch einmal von vorn; Sie werden feststellen, dass die Nadel nur ausschlägt, wenn sich der Magnet im Verhältnis zur Spule bewegt; wenn sich der Magnet im Verhältnis zur Spule in Ruhestellung befindet, stellt sich die Nadel des Amperemeters wieder auf Null zurück und bewegt sich nicht mehr.
- Dasselbe lässt sich auch beobachten, wenn man die Spule bewegt, während der Magnet in seiner Stellung verharrt.

- Setzen Sie den Weicheisenkern in die Spule und führen Sie den Magneten an die Spule; Sie werden feststellen, dass die Nadel des Amperemeters wesentlich deutlicher ausschlägt (da der Magnet nicht mehr in die Spule eingeführt werden kann, muss der Magnet an den Ausgang der Spule gebracht werden und ruckartig wieder entfernt werden, zunächst ohne Weicheisenkern, dann mit Weicheisenkern).
- Ersetzen Sie das Amperemeter durch ein Voltmeter oder durch ein Oszilloskop und beginnen Sie noch einmal von vorn.
- Beginnen Sie noch einmal von vorn und verändern Sie dabei die Anzahl der Windungen der Spule; Sie werden feststellen, dass die Stärke des induzierten Stroms (oder die Stärke der induzierten Spannung an den Klemmen der Spule) abnimmt, wenn man die Anzahl der Windungen verringert.
- Wenn Sie über einen zweiten Stabmagneten verfügen, beginnen Sie noch einmal von vorn, wobei die beiden Magneten aneinander haften; Sie werden feststellen, dass sich das Phänomen noch verstärkt.

**Varianten:**

- Statt einen Magneten zu verwenden, kann man die gleichen Effekte mit Hilfe eines Elektromagneten erreichen; um einen Elektromagneten zu realisieren, verwendet man die zweite Spule mit 600 Windungen und baut die Versuchsanordnung wie folgt auf:




Primärstromkreis Induzierend | Weicheisenkern | Sekundärstromkreis induziert

- Schalten Sie den Schalter K aus und Sie werden feststellen, dass ein induzierter Strom in der zweiten Spule fließt; ebenso beim Einschalten von K.
- Bei einem stabilen Zustand im Primärstromkreis (I bleibt konstant) fließt im Sekundärstromkreis kein induzierter Strom mehr.
- Führen Sie den Weicheisenkern in die beiden Spulen ein und Sie werden feststellen, dass sowohl beim Ausschalten als auch beim Einschalten von K ein induzierter Strom in der zweiten Spule generiert wird, allerdings noch in verstärktem Maße.

**Ergebnis:**
Die Entstehung eines induzierten Stroms ist abhängig von der **Schwankung** des Magnetfelds im Anker.

- Statt den Schalter des Primärstromkreises aus- und einzuschalten, um im Sekundärstromkreis einen induzierten Strom zu erzeugen, ersetzt man die Gleichstromversorgung des Primärstromkreises durch einen Niederfrequenzgenerator, der eine über die Zeit variable Spannung liefert; somit variiert das Magnetfeld, das durch den im Primärstromkreis fließenden Strom erzeugt wird, über die Zeit und erzeugt daher einen zeitabhängig variablen induzierten Strom im Anker. Da die Nadel des Amperemessers eine gewisse Trägheit aufweist (sie kann bei zu großer Frequenz den Takt nicht halten), wählen Sie für die vom Niederfrequenzgenerator zugeführte Spannung eine niedrige Frequenz (0,8 Hz) (wählen Sie ein Rechtecksignal); am Oszilloskop kann man die im Sekundärstromkreis induzierte Spannung beobachten (stellen Sie die horizontale Abtastung auf 1 ms pro Graduierung ein); bei jeder Unterbrechung oder Herstellung des Stroms im Induktor beobachtet man eine manchmal positive, manchmal negative Spannungsspitze an den Klemmen des Ankers, wobei die Rückstellung auf Null erfolgt, wenn im Induktor ein stabiler Zustand erreicht wurde.

**Ergebnis:**
Wenn man eine Quelle für ein Magnetfeld im Verhältnis zu einer Spule verlagert, so verhält sich diese wie ein Generator und erzeugt zwischen ihren Klemmen eine induzierte Spannung; diese mit einem Voltmeter gemessene Spannung entspricht praktisch der EMK des entstandenen Generators. Aufgrund dieser EMK fließt ein induzierter Strom, wenn man an den Klemmen der Spule einen externen Stromkreis anschließt. Die Stärke dieses Phänomens lässt sich noch steigern, wenn man die Anzahl der Windungen der Spule erhöht, wenn man einen Weicheisenkern in der Spule platziert, wodurch die magnetischen Feldlinien durch die Spule kanalisiert werden, oder wenn man die magnetische Feldstärke erhöht.

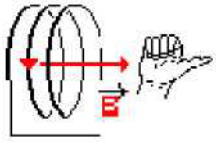
## 1.2 Induzierte Ströme: die qualitative Lenzsche Regel

**Lenzsche Regel:** **Der induzierte Strom ist in seiner Wirkung so beschaffen, dass er sich der Ursache widersetzt, die ihn entstehen ließ.**

**Richtung des induzierten Stroms:**

**Versuch 1:**

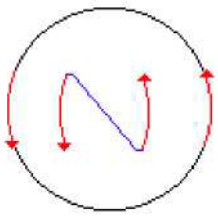
Verwenden Sie die Spule mit 600 Windungen, die mit dem Milliamperemeter mit Mittennullpunkt verbunden ist; führen Sie den Nordpol des Stabmagneten heran und ermitteln Sie die Richtung des induzierten Strom anhand der Richtung, in die die Nadel des Amperemeters ausschlägt; dadurch, dass der induzierte Strom fließt, wandelt er die Spule in einen Elektromagneten um, deren Pole man mit Hilfe einer der folgenden einfachen Regeln bestimmen kann:

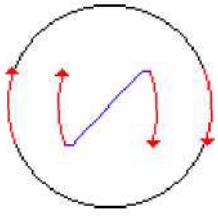



- Regel der Finger der rechten Hand:

Ballen Sie die Finger der rechten Hand in Richtung des Stroms; der Daumen gibt dann die Richtung des magnetischen Feldvektors **B** an; da dieser Vektor immer vom Nordpol „ausgeht“, leitet man daraus den Nord- und den Südpol des Elektromagneten ab.

- mnemotechnische Methode:





Man sieht von vorn auf die Spule entsprechend ihrer Achse; wenn der Strom entgegen dem Uhrzeigersinn fließt, kann man den Buchstaben N wie Nord erkennen; wenn der Strom im Uhrzeigersinn fließt, kann man den Buchstaben S wie Süd erkennen.

**Feststellung:**

- Wenn ein Nordpol an die Spule herangeführt wird, entsteht durch den induzierten Strom auf der betrachteten Spulenseite ein Nordpol.
- Wenn der Nordpol von der Spule entfernt wird, wird dadurch, dass ein induzierter Strom fließt, ein Südpol erzeugt.
- Wenn ein Südpol an die Spule herangeführt wird, entsteht ein Südpol.
- Und wenn schließlich der Südpol des Magneten von der Spule entfernt wird, wird ein Nordpol erzeugt.

**Versuch 2:**

Man kehrt noch einmal zum bereits realisierten Versuchsaufbau mit den beiden Spulen mit 600 Windungen, dem Milliamperemeter mit Mittennullpunkt, dem Gleichspannungsgenerator, dem Weicheisenkern und dem Schalter zurück.
Wenn man den Strom im Primärstromkreis durch Abschalten des Schalters auslöst, dann ist der induzierte Strom im Sekundärstromkreis so beschaffen, dass er sich dem Aufbau eines stabilen Zustands im Induktor widersetzt (der Induktor entspricht dem im Versuch 1 herangeführten Magneten).
Dasselbe lässt sich beobachten, wenn man den Primärstromkreis durch Einschalten des Schalters unterbricht (der Induktor entspricht dann dem wieder entfernten Magneten).

**Ergebnis:**

Welcher Fall auch immer betrachtet wird, die Richtung des induzierten Stroms richtet sich nach der qualitativen Lenzschen Regel.

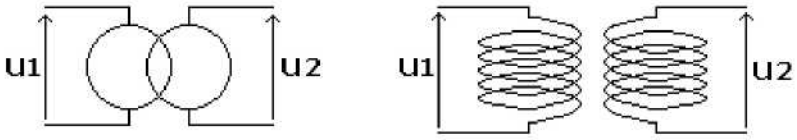
## 2. Anwendungsgebiete für das Phänomen der Induktion

### 2.1 Der perfekte Einphasentransformator

**Beschreibung:**
Ein Transformator besteht aus einer Grundplatte aus Eisen (Magnetstromkreis), auf der zwei Spulen aufgewickelt sind; die Platte besteht aus dünnen, übereinander angeordneten Blechlamellen, die durch einen Überzug voneinander isoliert wurden; Der Transformator dient dazu, die von den Spulen erzeugten Magnetfeldlinien zu kanalisieren; sein Aufbau ist durch eine aus dünnen Lagen bestehende Struktur gekennzeichnet, mit denen die Foucault-Ströme begrenzt werden sollen (siehe Absatz 2.2), und er besteht aus Siliziumstahl, um die Verluste durch Hysterese zu verringern.

Die **Primär**spule ist mit der Spannungsquelle verbunden und umfasst N1 Windungen.
Die **Sekundär**spule ist mit dem Verbraucherstromkreis verbunden und umfasst N2 Windungen.

Ein Transformator wird durch eines der beiden folgenden Symbole dargestellt:




**Untersuchung des Transformators:**

**ausgeschaltet:**

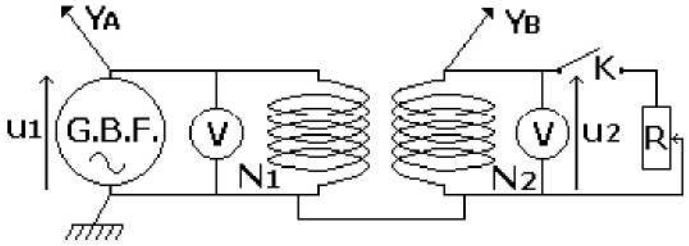
**Verwendetes Material: im Koffer**

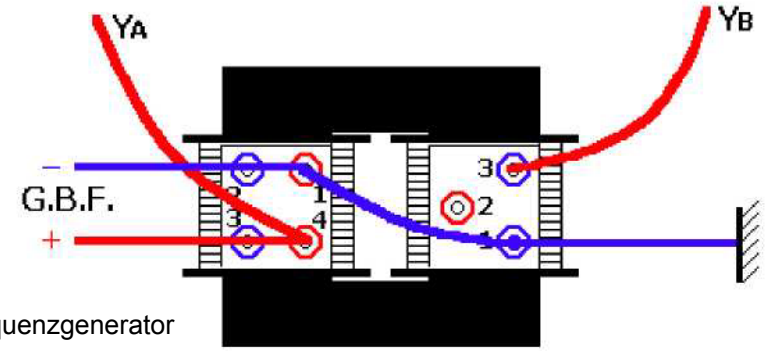
eine Spule mit 72 Windungen
eine Spule mit 600 Windungen
die Platte

**zusätzlich**
zwei Universalmessgeräte
ein Niederfrequenzgenerator
ein Schalter
ein Oszilloskop
drei BNC-Stecker, drei rote Kabel, vier schwarze Kabel
einen Regelwiderstand mit 100 Ω

**Der realisierte Versuchsaufbau:** **Schalter K eingeschaltet**

G.B.F. = Niederfrequenzgenerator




G.B.F. = Niederfrequenzgenerator

- Stellen Sie die Frequenz des Niederfrequenzgenerators auf 50 Hz ein
- Stellen Sie die horizontale Abtastung des Oszilloskops auf 5 ms/cm ein.
- Wählen Sie die Stärke 0,2 V/cm im Punkt A und 1 V/cm im Punkt B.
- Stellen Sie die Amplitude der vom Niederfrequenzgenerator erzeugten Sinusspannung auf 0,3 V ein.

**Feststellungen:**

- Die an den Ankerklemmen erzeugte Spannung ist ebenfalls sinusförmig und weist die gleiche Schwingung (also die gleiche Periode und die gleiche Frequenz) wie die Spannung an den Klemmen des Induktors auf.
- Die Amplitude der induzierten Spannung liegt deutlich über der vom Niederfrequenzgenerator erzeugten.
- Die Spannung an den Klemmen des Induktors ist phasenverkehrt zur Spannung an den Klemmen des Ankers.

**Vorgehensweise:**

Entfernen Sie die Anschlüsse des Oszilloskops und bringen Sie die beiden Voltmeter an. Variieren Sie die Spannungsamplitude des Induktors und messen Sie die entsprechenden Werte der Effektivspannungen U1 und U2; tragen Sie die Werte in die Tabelle ein.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **U1 in V** | | | | | | |
| **U2 in V** | | | | | | |
| **U2 / U1** | | | | | | |

**Feststellung:**
Das Verhältnis der Effektivwerte entspricht dem Verhältnis der Anzahl der Windungen, d. h. dem Umwandlungsverhältnis m = N2 / N1 = U2 / U1

**Untersuchung des Transformators:**

**Unter Last: Schalter K ausgeschaltet**

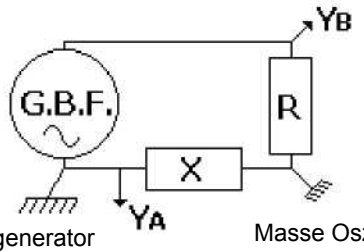
Wandeln Sie die Voltmeter in Amperemeter um und zeichnen Sie die jeweiligen Werte für die Effektivstärken I1 und I2 auf (Achtung: Schließen Sie die Amperemeter seriell an die jeweiligen Stromkreise an.)
Variieren Sie bei einer gegebenen Effektivspannung U2 den Widerstand des Laststromkreises.

**Feststellung:**
Das Verhältnis der Effektivstärken entspricht ebenfalls dem Umwandlungsverhältnis.
Eine Erhöhung von I2 bewirkt aufgrund des Energiebedarfs eine Erhöhung von I1.

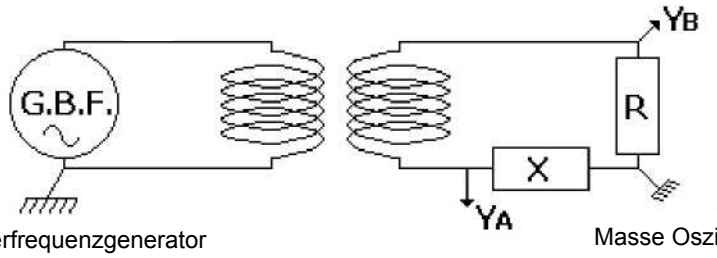
**m= N2 / N1 = U2 / U1 = I1 / I2**

**Anmerkung: Isoliertransformator**

Dies ist ein Transformator mit m = 1, d. h. N2 = N1: Die Gehäuse der Geräte wie Oszilloskop und Niederfrequenzgenerator sind geerdet; beim nachstehenden Versuchsaufbau wird man feststellen, dass der Dipol X kurzgeschlossen ist; das YA-Signal erscheint daher nicht auf dem Bildschirm des Oszilloskops.
Durch Hinzufügen eines Isoliertransformators in den zweiten Stromkreis lassen sich allerdings die Nachteile des vorherigen Stromkreises wettmachen, ohne dass die Spannungswerte geändert werden, denn m = 1.




G.B.F. = Niederfrequenzgenerator Masse Oszilloskop




G.B.F. = Niederfrequenzgenerator Masse Oszilloskop

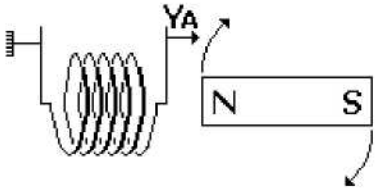
## 2.2 Funktionsprinzip des Wechselstromgenerators

**Verwendetes Material: im Koffer**

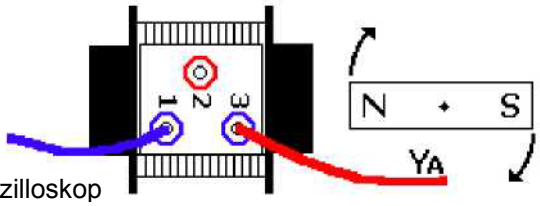
die beiden Spulen mit 600 Windungen
die Metallgrundplatte

**zusätzlich**
ein Drehmagnet
eine 3-V-Gleichstromversorgung, variabel
ein Oszilloskop

**Der realisierte Versuchsaufbau:**

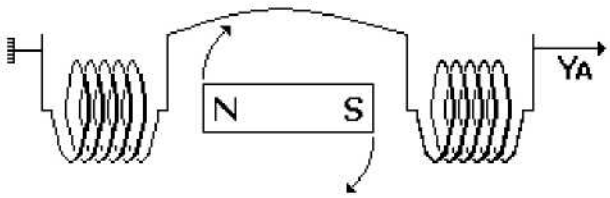


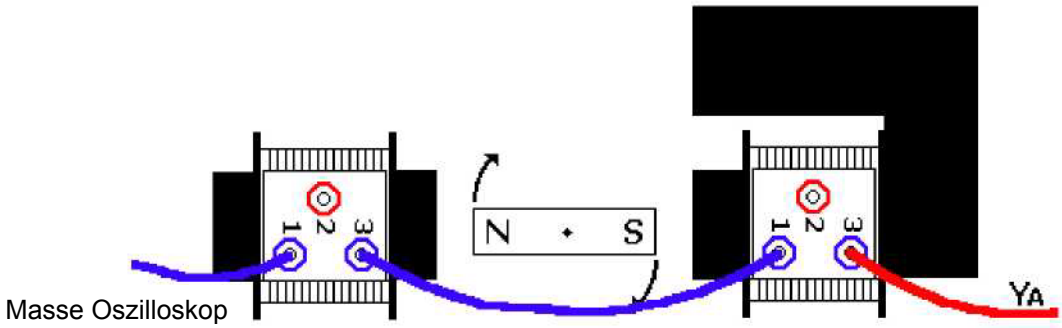

- Verbinden Sie die variable Gleichstromversorgung mit den Klemmen des Motors, der es ermöglicht, den Magneten mit konstanter Winkelgeschwindigkeit rotieren zu lassen.
- Verbinden Sie die Klemmen der Spule über den Punkt A mit dem Oszilloskop.
- Sie werden feststellen, dass eine induzierte Wechselspannung mit konstanter Amplitude und Frequenz an den Klemmen der Spule anliegt.
- Variieren Sie die Drehzahl des Motors des Magneten, und Sie werden feststellen, dass die Frequenz der induzierten Spannung von der Rotationsgeschwindigkeit des Magneten abhängt.




Masse Oszilloskop

- Beginnen Sie erneut von vorn und fügen Sie dabei die zweite Spule entsprechend dem folgenden Versuchsaufbau hinzu:






Bei einer gegebenen Rotationsgeschwindigkeit des Magneten verdoppelt sich somit die Spannungsfrequenz.

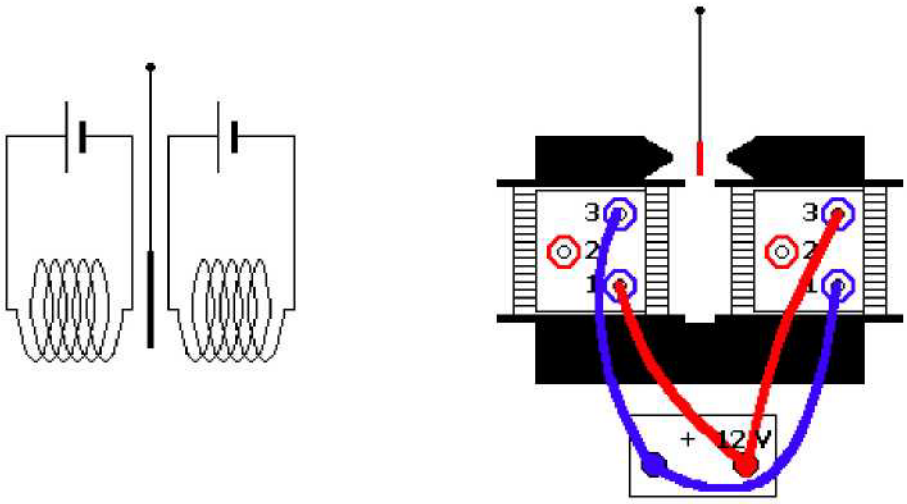
## 2.3 Foucault-Ströme

**Verwendetes Material: im Koffer**

die beiden Spulen mit 600 Windungen
die Metallgrundplatte
die beiden Pole

**zusätzlich**
ein Foucault-Pendel (Best.-Nr. 2003960)

**Der realisierte Versuchsaufbau:**




- Lassen Sie das Pendel zwischen den beiden Polen des Elektromagneten schwingen, ohne dass der Elektromagnet mit Strom versorgt wird.
- Versorgen Sie dann den Elektromagneten mit Strom, und Sie werden feststellen, dass das Pendel sich stark verlangsamt.
- Tauschen Sie die Metallgrundplatte des Foucault-Pendels aus (benutzen Sie die Scheibe mit Einkerbung), beginnen Sie erneut, das Pendel zu schwingen, zunächst ohne, dann mit dem Elektromagneten, und Sie werden feststellen, dass die Schwingungen stark gedämpft werden.

**Erklärung:**
Im Verlauf der Schwingungen durchkreuzt die Scheibe, die das Pendel darstellt, die vom Elektromagneten erzeugten Magnetfeldlinien; daraufhin entstehen induzierte Ströme in der Metallmasse der Scheibe und entsprechend der Lenzschen Regel widersetzen sich diese der Ursache ihrer Entstehung, d. h. der Bewegung der Scheibe.

Durch die Einkerbung der Scheibe wird verhindert, dass die induzierten Ströme in der Metallmasse fließen, wodurch sich die Verlangsamung der Schwingungen vermindert.

**Anmerkungen:**
Wenn die Grundplatte des Transformators eine aus dünnen Lagen bestehende Struktur aufweist, so dient dieser Aufbau allein dem Zweck, die Foucault-Ströme im Inneren des Transformators zu verringern und so einen Energieverlust durch den Joule-Effekt zu vermeiden.
Schwerlastfahrzeuge sind mit einer elektromagnetischen Bremse ausgerüstet (induzierte Ströme entstehen in einer mit der Motorwelle des Fahrzeugs fest verbundenen Scheibe, die sich zwischen den Polen eines Magneten dreht).

Foucault-Strömen bedient man sich auch in Induktionsheizplatten, mit denen vielleicht auch Ihre Küche ausgestattet ist; im Topf selbst entstehen die Foucault-Ströme, die durch ein variables Magnetfeld erzeugt werden.

**Foucault-Ströme entstehen immer dann in einer Metallmasse, wenn sich diese in einem Magnetfeld bewegt oder in einem variablen Magnetfeld ruht.**

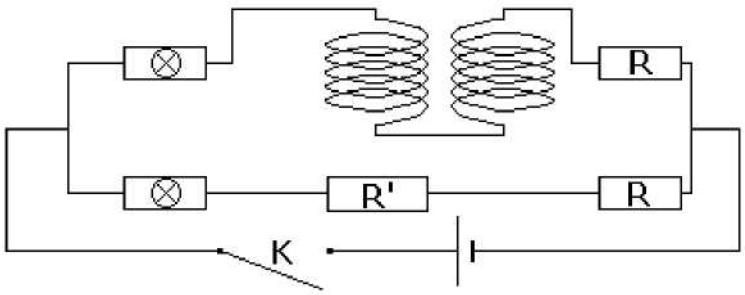
# 3. Selbstinduktion

## 3.1 Experimenteller Beweis

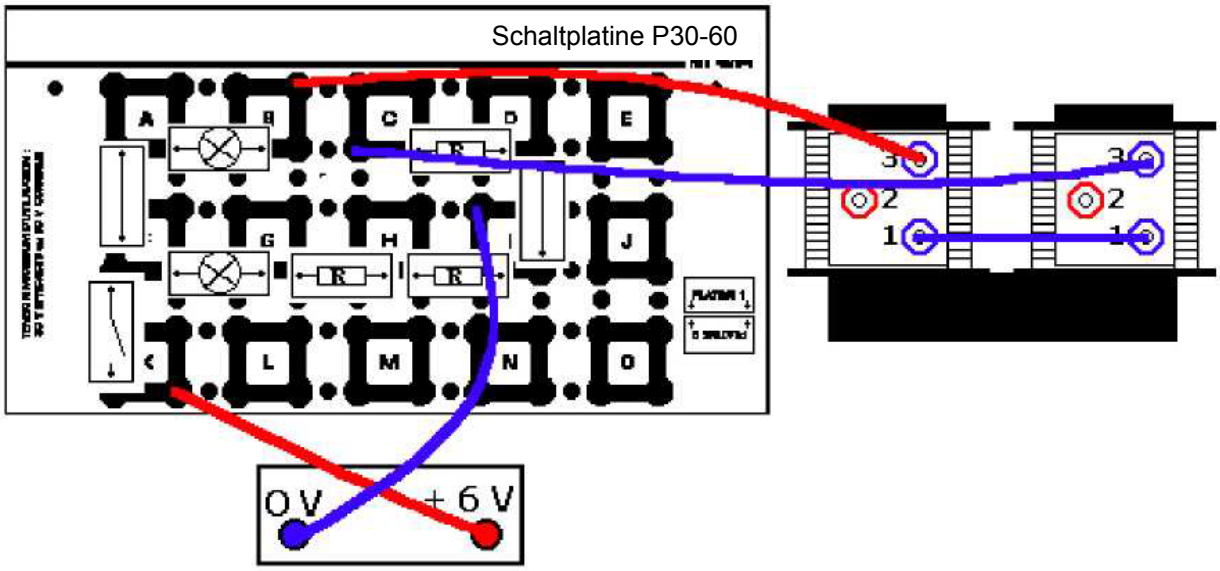
**Verwendetes Material: im Koffer**

die beiden Spulen mit 600 Windungen
die Metallgrundplatte

**zusätzlich**
eine Schaltplatine
eine 6-V-Gleichstromversorgung, variabel
ein Oszilloskop
zwei Lampen mit 3,5 V und 0,2 A in Fassungen
zwei Widerständen mit 5 Ω (R)
ein Widerstand mit 20 Ω (R')
ein Widerstand r = 1 kΩ
die notwendigen Kabel
ein Schalter
ein Oszilloskop
ein Niederfrequenzgenerator



## 1. Versuch:




- Die beiden Stromabzweigungen weisen den gleichen Widerstand auf.
- Schalten Sie den Schalter K aus, und Sie werden feststellen:
- Die Lampe, die sich in der Abzweigung ohne Spule befindet, leuchtet sofort auf.
- Die andere Lampe leuchtet, allerdings mit einer Verzögerung.

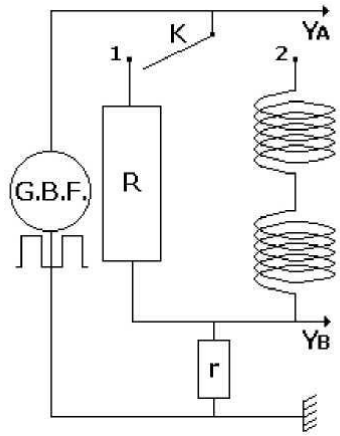
**Versuchsauswertung:**

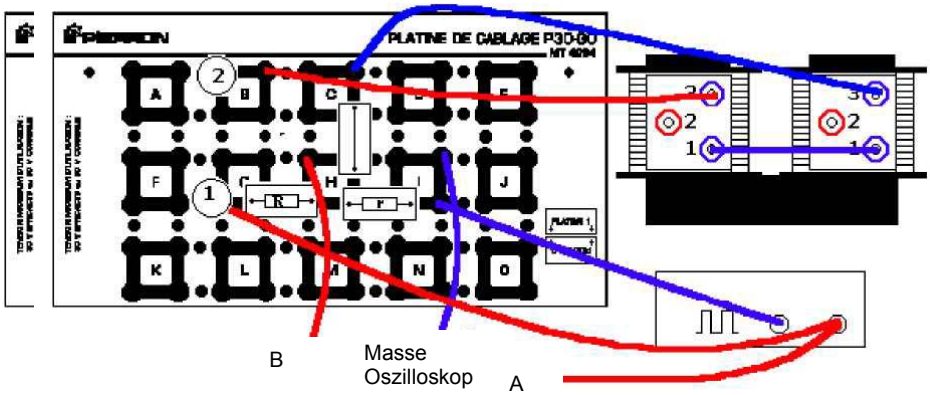
Wenn man den Stromkreis schließt, variiert man die Stromstärke in allen Abschnitten des Stromkreises; in dem Abschnitt, in dem sich die Spule befindet, erzeugt diese Variation von I eine Veränderung des von der Spule erzeugten Magnetfeldes, wodurch wiederum ein induzierter Strom in dieser Spule entsteht. Da sich dieser Strom der Ursache, die ihn entstehen ließ, widersetzt, verzögert er also, dass ein stabiler Zustand in diesem Abschnitt des Stromkreises hergestellt wird. Die Lampe beginnt daher mit einer gewissen Verzögerung zu leuchten, denn im anderen Abschnitt des Stromkreises entsteht das Phänomen der Selbstinduktion nicht.
Beim Öffnen des Stromkreises kommt es erneut zu einer Variation von I, wodurch die Lampe verzögert erlischt.

## 2. Versuch:

- Verbinden Sie den positiven Pol des Niederfrequenzgenerators (Rechteckimpulssignal einer Frequenz von 500 Hz und einer Amplitude von 2 V) mit der Position 1 auf der Platine des Versuchsaufbaus.
- Es lässt sich beobachten, dass die Spannung in Punkt A als Rechteckimpulsspannung vom Niederfrequenzgenerator zur Verfügung gestellt wird, und im Punkt B entsteht die Spannung an den Klemmen von r, also ergibt sich die Stromstärke i in Abschnitt 1 des Stromkreises als ein Vielfaches von r.
- Einstellungen des Oszilloskops: 0,5 ms / cm für die horizontale Abtastung, 1 V / cm in A und B; stellen Sie den Schalter, mit denen die Signale zwischen A und B umgeschaltet werden können, in Mittelstellung.
- Sie werden feststellen, dass i zuverlässig den Spannungsschwankungen des Niederfrequenzgenerators folgt.
- Nun verbindet man den positiven Pol des Niederfrequenzgenerators mit der Position 2 auf der Schaltplatine.
- Der Stromkreis besteht aus einer Spule mit demselben Widerstand wie R, in Serie geschaltet mit r = 1 kΩ.
- Sie werden feststellen, dass der Strom im Schaltkreis erst mit einer Verzögerung fließt und auch verzögert unterbrochen wird.

G.B.F.= Niederfrequenzgenerator

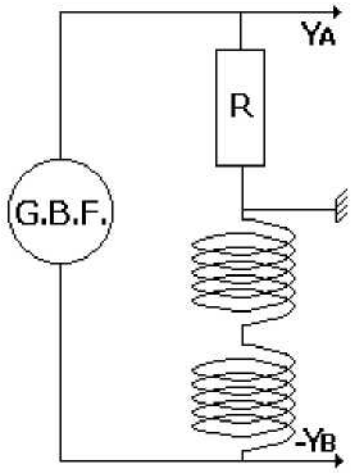


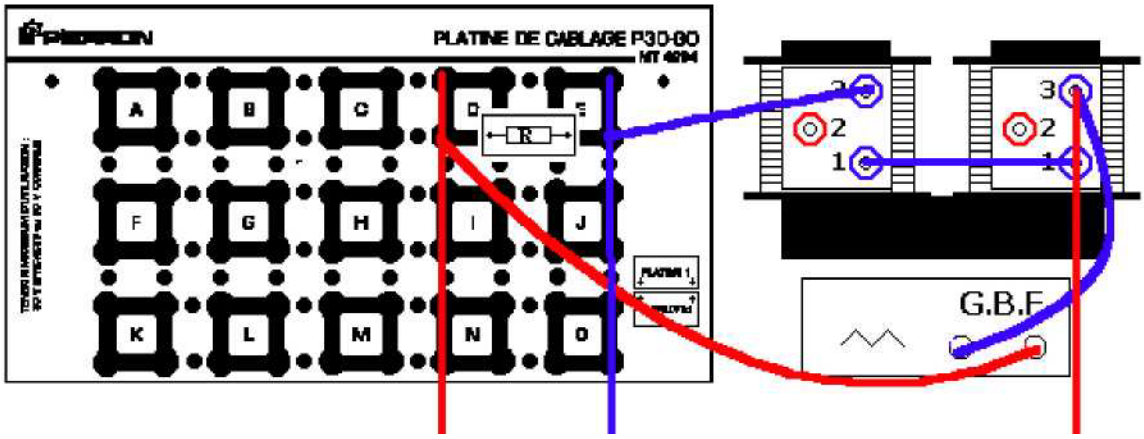



**3. Versuch:**

- Wählen Sie eine Sägezahnspannung mit einer Frequenz von 250 Hz und einer Amplitude von 4 V.
- Verwenden Sie einen Widerstand mit 4,7 kΩ.
- Beobachten Sie die Spannung an den Klemmen der Spule, und Sie werden feststellen, dass es sich um einen Rechteckimpuls handelt (Einstellung des Oszilloskops: 0,5 ms / cm für die horizontale Abtastung, 2 V / cm in Punkt A und 0,5 V / cm in Punkt B.
- Diese Spannung stellt die Abweichung im zeitlichen Verhältnis zum Dreieckssignal dar.

G.B.F.= Niederfrequenzgenerator



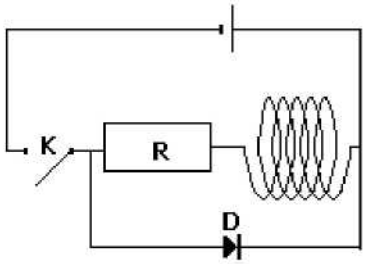

A Masse Oszilloskop B

Die Spannung an den Klemmen einer Spule drückt sich in folgender Gleichung aus:

**$U_L$ = L * di / dt** wenn der Widerstand der Spule zu vernachlässigen ist, und wenn nicht:
**$U_L$ = r * i + L * di / dt** wobei r den Widerstand der Spule bezeichnet.

### Eine Anwendung zur Selbstinduktion: die Freilaufdiode

Wenn man den Strom in einem induktiven Schaltkreis abschaltet, liegt die induzierte EMK an den Klemmen des Schalters an, wodurch ein Lichtbogen entstehen kann, der umso größer ist, je höher die selbstinduzierte EMK ist. Dies kann zu Schäden an den Elektrogeräten führen; außerdem besteht die Gefahr eines Stromschlags für denjenigen, der den Schalter bedient. Um hier Abhilfe zu schaffen, sieht man parallel zu den Klemmen der Spule eine Diode vor, wie im nachstehenden Schaubild dargestellt:




Wenn der Schalter K eingeschaltet wird, fließt über die selbstinduzierte EMK ein selbstinduzierter Strom, der sich der Abschaltung des Dauerstroms widersetzt; die Diode wird also leitend, was zur Folge hat, dass die Überspannung an den Klemmen der Spule abgebaut wird.

## 3.2 Messung der Induktivität einer Spule

### 1. Versuchsaufbau:

- Man verwendet den realisierten Versuchsaufbau für den dritten Versuch. Wählen Sie Frequenz von 250 Hz mit einem unsymmetrischen Dreiecksignal (Sägezahn).
- Wählen Sie den Punkt A, dann messen Sie unter Berücksichtigung der gewählten Größen $\Delta U_R$ (in V) und $\Delta t$ (in s).
- Da $u_R = R * 1$, ist $du_R / dt = R * di / dt$.
- Da es sich um ein Dreiecksignal handelt, ist $du_R / dt = \Delta U_R / \Delta t = R * di / dt$.
- Da schließlich die selbstinduzierte EMK in der theoretischen Gleichung: $e = - L * di / dt$ Ausdruck findet, lässt sich daraus die Induktivität L der Spule wie folgt ableiten:

$$L = - e / (di / dt) = - e * R / (\Delta U_R / \Delta t)$$

- Beispielhaft wurde die Spannung an den Klemmen der Spule mit 1,3 V (Punkt B) gemessen, wobei $\Delta U_R$ = 16 V und $\Delta t$ = 0,65 ms; der verwendete Widerstand hatte einen Wert von 4,63 kΩ; es ergibt sich L = 0,24 H für die beiden seriellen Spulen mit Weicheisenkern.

### 2. Versuchsaufbau:

- Stellen Sie die Frequenz auf 250 Hz ein und wählen Sie dann ein sinusförmiges Wechselstromsignal mit einer Amplitude von 4 V.
- Messen Sie $U_{R\,max}$ in Punkt A unter Berücksichtigung der vorgegebenen Größen.
- Leiten Sie daraus $I_{max} = U_{R\,max} / R$ ab.
- Messen Sie $U_{L\,max}$ in Punkt B unter Berücksichtigung der vorgegebenen Größen.
- Leiten Sie daraus die Impedanz der Spule $Z_L = U_{L\,max} / I_{max}$ ab.
- Wenn man den Widerstand der Spule vernachlässigt, was hier der Fall ist, lautet die Gleichung für die Impedanz:

$$Z_L = L * \omega = L * 2 \pi * f$$

- Daraus lässt sich ableiten: $L = Z_L / 2 \pi * f$
- Beispielhaft ergibt sich bei f = 250 Hz, $U_{R\,max}$ = 8,2 V und R = 4,63 kΩ: L = 0,233 H, was mit dem im ersten Versuchsaufbau ermittelten Wert übereinstimmt.

### 4. Metallschmelze

**<u>Achtung:</u>** **Die Spule mit 600 Windungen wird an das Stromnetz angeschlossen werden; es sind somit alle Sicherheitsvorkehrungen zu ergreifen.**

**Verwendetes Material: im Koffer**

die Metallgrundplatte
eine Spule mit 600 Windungen
die Rinne für die Metallschmelze

**zusätzlich**
ein Metall mit niedriger Schmelztemperatur (z. B. 7 cm Schweißdraht aus Zinn)
ein Stück dicker Karton

**Vorgehensweise:**

- Bringen Sie die Schmelzrinne auf der Platte an, mit der abgeflachten Seite nach innen.
- Platzieren Sie die Spule mit 600 Windungen auf der anderen Seite der Grundplatte.
- Schließen Sie den Magnetstromkreis, indem Sie den aus dünnen Lagen aufgebauten Stab an der Grundplatte festschrauben.
- Führen Sie das Stück Karton zwischen Spule und Schmelzrinne ein.
- Schließen Sie die Spule an das Stromnetz an (**Achtung**).
- Nach 2 bis 3 Minuten ist das Metall geschmolzen, die Rinne ist sehr heiß.
- Entfernen Sie die Spule (**Achtung**).
- Sie werden feststellen, dass die Platte aufgrund ihrer vielschichtigen Struktur nicht heiß ist.

Damit wurde eine Anwendung für Foucault-Ströme umgesetzt.

## 5. Schweißen

**Achtung:** **Die Spule mit 600 Windungen wird an das Stromnetz angeschlossen werden; es sind somit alle Sicherheitsvorkehrungen zu ergreifen.**

**Verwendetes Material:** **im Koffer**
die Metallgrundplatte
eine Spule mit 600 Windungen
die Spule zum Schweißen

**zusätzlich**
zwei saubere Stahlplatten geringer Stärke

**Vorgehensweise:**

- Bringen Sie die Spule mit 600 Windungen auf der Grundplatte an.
- Platzieren Sie die Spule mit 600 Windungen auf der anderen Seite.
- Führen Sie die beiden Metallplatten zwischen die Elektroden der Spule mit 6 Windungen ein; halten Sie sie mit Hilfe einer Zange in Position, wobei Sie gleichzeitig

dank der isolierten Griffe der Schweißspule den Kontakt der beiden Platten mit den Elektroden beibehalten.

- Schließen Sie die Spule mit 600 Windungen an das Stromnetz an (**Achtung**).
- Ein Lichtbogen springt zwischen den beiden Elektroden hin und her und bildet einen Schweißpunkt (wenn man zu lange verweilt, entsteht ein Loch im Metall).
- Entfernen Sie die Spule (**Achtung**).

Auch diese Vorgehensweise stellt anschaulich dar, wie zeitabhängig Foucault-Ströme in jeder Metallmasse entstehen, die in ein variables Magnetfeld eingebracht wird.