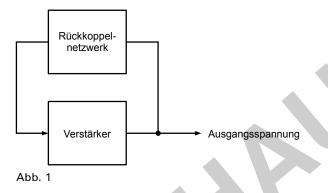
# Fachliche und didaktisch-methodische Hinweise

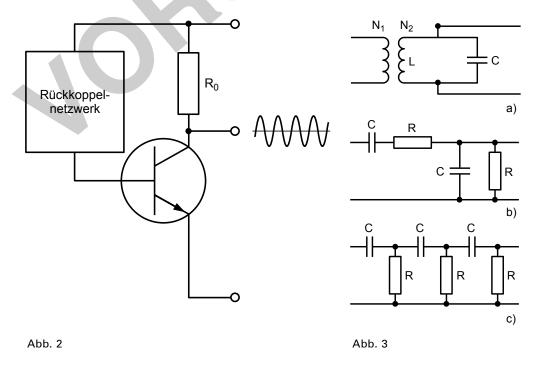
#### **Fachlicher Hintergrund**

Die **Erzeugung** elektromagnetischer Schwingungen erfolgt in Oszillatoren. Das sind schwingungsfähige Systeme, die periodische sinusförmige Signale erzeugen können. Aus physikalischer Sicht ist ein **elektrischer Oszillator** ein Verstärker, bei dem ein Teil der Ausgangsspannung über ein Netzwerk wieder auf den Eingang des Verstärkers zurückgeführt bzw. zurückgekoppelt wird (Abb. 1). Aufgabe des Verstärkers ist es, dem Rückkoppelnetzwerk so viel Energie zuzuführen, dass auftretende Energieverluste ersetzt und ungedämpfte Schwingungen aufrechterhalten werden.



Die vom Ausgang des Verstärkers auf seinen Eingang zurückgeführte Wechselspannung muss dort die gleiche Frequenz und die gleiche Phasenlage haben wie die Ausgangswechselspannung. Das bedeutet, dass es durch das Rückkoppelnetzwerk keine Phasenverschiebung geben darf. Dieses Prinzip wird als **Mitkopplung** bezeichnet.

Mit einem Bipolartransistor in Emitterschaltung lässt sich ein einfacher Sinus-Oszillator herstellen (Abb. 2). Das Rückkoppelnetzwerk kann z. B. ein Schwingkreis (a), eine Wienbrückenschaltung (b) oder eine Phasenschieberkette sein (c, Abb. 3). Die Bauelemente des Rückkoppelnetzwerks bestimmen dabei die Frequenz der Schwingung.





$$f = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot C}}$$

berechnet und ist in weiten Bereichen variierbar – von niedrigen Frequenzen bis in den Hochfrequenzbereich. Bekanntestes Beispiel eines LC-Oszillators ist die **Meißner-Schaltung** (M 8).

Das **Wienbrückennetzwerk** besteht aus zwei Kondensatoren und zwei Ohm'schen Widerständen. Es ruft eine bauelementabhängige Phasendrehung zwischen 0° und 90° hervor. Sind die R- und C-Werte jeweils gleich, ergibt sich nur bei einer ganz bestimmten RC-Kombination eine Phasendrehung von null. Der Verstärker muss deshalb mit einer zweiten Emitterstufe aufgebaut werden. Wienbrücken-Oszillatoren sind nur für den mittleren Frequenzbereich geeignet. Auf dieser Frequenz schwingt der Oszillator:

$$f = \frac{1}{2 \pi \cdot R \cdot C} .$$

Auch die **Phasenschieberkette** ist ein Netzwerk, das nur bei einer ganz bestimmten Kombination der drei Widerstände und Kondensatoren eine Phasendrehung von 180° hervorruft. Jedes RC-Glied verschiebt dabei um 60°, sodass mit drei Gliedern bei genau einer Frequenz die gesamte Phasendrehung von 180° erreicht wird.

### Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Für den Physikunterricht sind elektromagnetische Schwingungen ein interessantes Thema. Sie treten in Technik und Medizin sehr häufig auf. Viele Geräte der **Unterhaltungselektronik** (z. B. Rundfunk- und Fernsehgeräte, Mobiltelefone, elektronische Musikinstrumente) besitzen Schwingkreise, in denen elektromagnetische Schwingungen verschiedener Frequenzen erregt werden. Das Thema ermöglicht somit die praktische Realisierung der didaktischen Forderung nach **Alltagsorientierung** des Physikunterrichts.

In den **Physik-Lehrplänen** der einzelnen Bundesländer finden die elektromagnetischen Schwingungen deshalb auch entsprechende Berücksichtigung. Beispielsweise findet man im Lehrplan der gymnasialen Oberstufe von Brandenburg folgende Stichworte:

- periodische Energieübergabe zwischen Spule und Kondensator beim Schwingkreis
- · Analogie zwischen mechanischer und elektromagnetischer Schwingung
- Abhängigkeit der Schwingungsdauer von Kapazität und Induktivität
- Prinzip der Erzeugung ungedämpfter, elektromagnetischer Schwingungen; Rückkopplung

Im Lehrplan von Nordrhein-Westfalen werden im Inhaltsfeld "Elektrik" die Eigenschaften elektrischer Ladungsträger und ihr Verhalten in elektrischen und magnetischen Feldern untersucht. Weitere Schwerpunkte liegen auf den Beziehungen zwischen elektrischen und magnetischen Erscheinungen, insbesondere auf der Beschreibung von elektromagnetischer Induktion und von elektromagnetischen Schwingungen und Wellen.

Der Lehrplan von <u>Bayern</u> sieht für die Jahrgangsstufe 11/12 vor: "11.5 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen (ca. 24 Std.)".



zur Vollversion

II/C

### Bezug zu den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz

Allg. physi- kalische Kompetenz	Inhaltsbezogene Kompetenzen Die Schüler	Anforderungs- bereich
F 1, F 4, F 5 E 1, E 3, E 5	kennen den Aufbau eines Schwingkreises und können die Vorgänge in ihm beschreiben ( <b>M 2</b> ),	1, 11
F 1, F 2, B 1, K 1, K 3, K 7	können Analogiebetrachtungen zwischen elektromagnetischen und mechanischen Schwingungen herstellen ( <b>M 2</b> ),	1–111
F 1, F 3 E 3, E 5	können die Erzeugung gedämpfter und ungedämpfter Schwingungen erklären ( <b>M 4, M 7</b> ),	I–III
E 7, E 8, E 9, E 10	können verschiedene Experimente zur Erzeugung gedämpfter und ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen durchführen und auswerten ( <b>M 3, M 5, M 6, M 8</b> ),	I, II
F 4, B 2 K 3	kennen den Begriff "Rückkopplung" und können ihn aus Beispielen aus Natur und Technik ableiten ( <b>M 7</b> ),	I, II
E 7, E 8, E 9, E 10	können physikalische Fragestellungen und Zusammenhänge zwischen mehreren physika- lischen Größen mittels eines vorstrukturierten Experiments untersuchen ( <b>M 8</b> ),	I, II
K 5, K 6	interpretieren experimentell gewonnene Daten im Hinblick auf die Fragestellung ( <b>M 3, M 5, M 6, M 8</b> ),	I, II
F 4, B 2 K 3	kennen verschiedene alltagsnahe Anwendungen elektromagnetischer Schwingungen und können deren Funktionsweise beschreiben ( <b>M 9</b> ).	I–III

Für welche Kompetenzen und Anforderungsbereiche die Abkürzungen stehen, finden Sie auf der beiliegenden CD-ROM 38.



## Materialübersicht

	vorbereitungszeit		= Arbeitsblatt/Informationsblatt	
① D =	= Durchführungsze	it LV = Lehrerversuch Fo	= Folie WH = Wiederholungsblat	
M 1	WH	Frischen Sie Ihr Wissen zur Elektrizitätslehre auf!		
M 2	Ab	Elektromagnetische Schwingungen in einem Schwingkreis		
M 3	SV / LV	Ein Experiment zur Erzeugung elektromagn. Schwingun		
	少 V: 10 min	■ Netzgerät, 0 bis 20 V	Kondensator, 50 μF	
	少 D: 15 min	☐ Spule mit großer Induktiv 500 H	ität, 🗖 Widerstand, 1 kΩ	
			☐ Umschalter	
		<ul><li>Strommesser mit Nullpun Mittellage, 10 mA</li></ul>	Kt-	
M 4	Ab	Gedämpfte elektromagnetische Schwingungen		
M 5	SV / LV	Ein Experiment zur Erzeugung gedämpfter elektromagnetischer Schwingungen		
	少 V: 10 min	☐ Netzgerät, 0 bis 20 V	☐ Kondensator, 1 µF	
	① D: 10 min	U- und I-Eisenkern, geblät	tert 🗖 Spule, 1500 Windungen	
		□ Oszilloskop	Umschalter	
M 6	SV / LV	Ein Experiment zur Untersuchung der Abhängigkeit der Dämpfung einer elektromagnetischen Schwingung vom Ohm'schen Widerstand		
	少 V: 10 min	□ U- und I- Eisenkern, geblä	ttert 🗖 Funktionsgenerator	
	① D: 10 min	☐ Spule, 500 Windungen	Kondensator, 0,1 μF	
		☐ Zweikanal-Oszilloskop	Kondensator, 10 nF	
-		veränderlicher Widerstand	l, 0 1 kΩ	
M 7	Ab	Ungedämpfte elektromagnetische Schwingungen		
M 8	SV / LV	Experiment zur Erzeugung ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen mit einer Meißner'schen Rückkopplungsschaltung		
	① V: 10 min	☐ Netzgerät, 0 bis 20 V	Spule, 250 Windungen	
	<sup>(2)</sup> D: 15 min	☐ Kondensator, 1 µF	Spule, 500 Windungen	
		U- und I- Eisenkern, geblä	ttert 🗖 Oszilloskop	
		<ul><li>veränderlicher Widerstand 100 kΩ</li></ul>	I, 🗖 Lautsprecher	
		☐ Transistor BD 137, o. Ä.	☐ Schalter	
M 9	Ab	Anwendungen ungedämpfter elektromagnetischer Schwingungen		

Die Erläuterungen und Lösungen zu den Materialien finden Sie ab Seite 20.

#### Minimalplan

Bei Zeitknappheit können Sie Material **M 9** weglassen. Falls das noch nicht reicht, streichen Sie auch Material **M 6**.

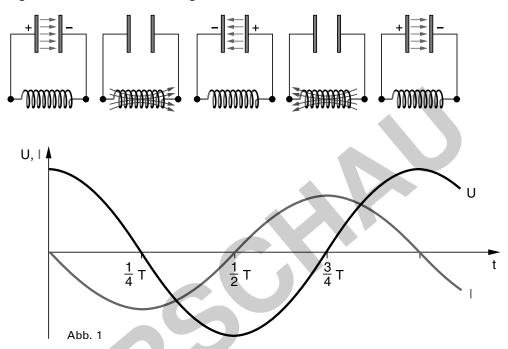


zur Vollversion

II/C

# M 2 Elektromagnetische Schwingungen in einem Schwingkreis

Ein elektrischer Schwingkreis ist eine Zusammenschaltung von einem Kondensator und einer Spule. In ihm können nach Zufuhr elektrischer Energie elektromagnetische Schwingungen angeregt werden. Dabei wird die im Kondensator gespeicherte elektrische Feldenergie in der Spule in magnetische Feldenergie umgewandelt. Danach wird diese Energie wieder abgebaut und in elektrische Feldenergie des Kondensators umgewandelt. Es entsteht eine **elektromagnetische Schwingung** (siehe **M** 3). Den zeitlichen Verlauf von Spannung U und Stromstärke I zeigt Abb. 1.



#### Vorgänge im Schwingkreis

Zum Zeitpunkt t = 0 ist die Spannung U am Kondensator maximal und die Stromstärke I null. Dann entlädt sich der Kondensator, und es fließt ein Strom durch die Spule. In der Zeit 0 < t < T/4 nimmt die Spannung am Kondensator ab, während die Stromstärke im Schwingkreis ansteigt. Wenn der Kondensator völlig entladen ist, hat die Stromstärke ihren betragsmäßig höchsten Wert erreicht (t = T/4). Obwohl zu diesem Zeitpunkt zwischen den Kondensatorplatten keine Spannung mehr besteht, hört der Stromfluss nicht auf. Durch den Abbau des Magnetfeldes wird in der Spule eine Spannung induziert, die den Schwingkreisstrom weiterfließen lässt. Ursache für das Weiterfließen des Stromes ist die **Selbstinduktion** in der Spule. Infolge des **Lenz'schen Gesetzes** fließt der Induktionsstrom in der gleichen Richtung wie der Entladestrom. Dadurch wird der Kondensator erneut aufgeladen, diesmal jedoch mit umgekehrter Polung. Beim Aufladen nimmt die Stromstärke ab und die Spannung am Kondensator zu (T/4 < t <T/2). Der Ladevorgang ist beendet, wenn die magnetische Feldstärke null ist (t = T/2). Danach entlädt sich der Kondensator erneut, und die Vorgänge wiederholen sich. Stromstärke und Spannung sind um eine Viertelperiode phasenverschoben (Abb. 1).

Die Frequenz der Schwingung hängt von der Kapazität des Kondensators und der Induktivität der Spule ab. Man bezeichnet sie als **Eigenfrequenz** des Schwingkreises. Es gilt die **Thomson'sche Schwingungsgleichung**:

$$f = \frac{1}{2\pi \, \sqrt{\, LC}} \ bzw. \, \omega = \frac{1}{\sqrt{\, LC}} \, . \label{eq:f_cont}$$

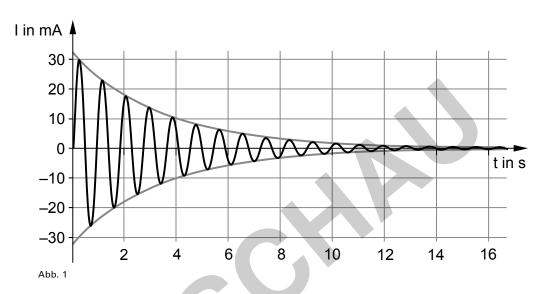


II/C

# M 4 Gedämpfte elektromagnetische Schwingungen

In einem Schwingkreis wird immer ein Teil der elektrischen Energie in <u>thermische</u> Energie umgewandelt. Ursache hierfür ist der Ohm'sche Widerstand in den Zuleitungen und im Draht der Spule. Die Amplituden von Schwingkreisstromstärke und Schwingkreisspannung nehmen ab, wenn nicht von außen Energie zugeführt wird (Abb. 1).

Die Abnahme der Amplituden erfolgt nach einer e-Funktion (einhüllende Kurve). Wie schnell die Amplitude abnimmt, hängt von der Größe des Ohm'schen Widerstands ab (siehe **M 6**).



#### Mathematische Beschreibung der gedämpften Schwingung

Für die gedämpfte elektromagnetische Schwingung in einem Schwingkreis gilt der Energieerhaltungssatz

$$E_{mag}(t) + E_{el}(t) + E_{th}(t) = konstant.$$

Daraus kann man folgende Gleichungen zur Beschreibung der gedämpften Schwingung herleiten:

$$U(t) = U_{\text{max}} \cdot \left(\cos \omega' t\right) \cdot e^{-\frac{R}{2L} \cdot t}$$

$$\omega' = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{4 L^2}}$$



R = Ohm'scher Widerstand (Drahtwiderstand der Spule + eventueller Festwiderstand)

C = Kapazität des Kondensators

L = Induktivität der Spule

ω' = Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung

Прр

$$\beta = \frac{R}{2I}$$
 heißt "Abklingkoeffizient".



# M 4 Gedämpfte elektromagnetische Schwingungen

#### Aufgaben

1. Beschreiben Sie die Abnahme der Amplituden in einem Schwingkreis, die durch einen **Ohm'schen Widerstand** zustande kommt.

#### Für Experten

Begründen Sie, dass durch den Ohm'schen Widerstand die Amplituden der Schwingung exponentiell abnehmen.

- 2. Ermitteln Sie aus Abb. 1 die maximale Amplitude der Stromstärke I<sub>max</sub> und die Frequenz f der gedämpften Schwingung des Schwingkreises.
- 3. An den Kondensator mit C = 47  $\mu$ F eines einfachen Schwingkreises wird kurzzeitig eine Gleichspannung von 12 V angelegt. Die Spule hat einen Ohm'schen Widerstand von 300  $\Omega$  und eine Induktivität von 500 H.
- a) Berechnen Sie die Spannung im Schwingkreis nach 0 s, 0,5 s, 1 s, 1,5 s und 2 s.
- b) Zeichnen Sie den ungefähren Verlauf der Schwingung.

#### Merke

Der Ohm'sche Widerstand in einem Schwingkreis dämpft die Schwingung und ist vergleichbar mit der mechanischen Reibung bei einem Pendel. Die elektrische Energie wird teilweise in thermische Energie umgewandelt.



Die Abnahme der Amplituden stellt eine Abklingkurve dar, die durch die Größe des Ohm'schen Widerstands bestimmt wird.

 $\gg$ 

#### Tipp zu Aufgabe 1

Vergleichen Sie die Wirkung des Stromflusses in einem elektrischen Leiter mit der mechanischen Reibung bei einem Pendel.



**X** 

### Tipp zu Aufgabe 2

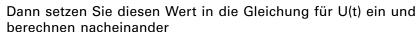
Bestimmen Sie die Frequenz aus der Schwingungsdauer T. Diese ermitteln Sie am einfachsten mithilfe der Nulldurchgänge der Schwingung. (Ergebnis: T = 0.9 s)

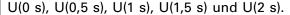


**><** 

## Tipp zu Aufgabe 3

Berechnen Sie zuerst aus den angegebenen Werten für C, L und R die Kreisfrequenz der gedämpften Schwingung  $\omega'$ .





Stellen Sie Ihren Taschenrechner auf "RAD" um.

Stellen Sie mithilfe der berechneten Werte das t-U-Diagramm dar.





