



# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Elektromagnetische Schwingungen - fachliche Grundlagen,  
Anwendungen und Experimente (Teil I)*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)



## Elektromagnetische Schwingungen – fachliche Grundlagen, Anwendungen und Experimente (Teil I)

Dr. Rolf Winter, Potsdam



© Thinkstock/Purestock; mit Model-Release

Elektronische Musik macht Spaß und ist sehr beliebt.

II/C

Mit elektromagnetischen Schwingungen ist es möglich, elektronische Musik zu machen. In einem Synthesizer erzeugen Oszillatoren für jeden Ton einer Oktave Sinusschwingungen. Zwischentöne werden durch Frequenzteilung gewonnen. Durch Überlagerung von Grund- und Oberschwingungen kann der Klang der meisten Instrumente imitiert werden. Auch neuartige Klangeffekte lassen sich erzeugen. Wir beschreiben die physikalischen Grundlagen von elektromagnetischen Schwingungen.

Der Beitrag im Überblick	
<p><b>Klasse:</b> 11/12</p> <p><b>Dauer:</b> 9 Stunden</p> <p><b>Ihr Plus:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ viele Experimente</li> <li>✓ Grundlagen für die Beschreibung zahlreicher Anwendungen, z. B. <ul style="list-style-type: none"> <li>– Synthesizer,</li> <li>– Mikrofone,</li> <li>intelligente Ampelsteuerung,</li> <li>Quarzuhr und</li> <li>Mikrowellenherd (in Teil II, Mai 2015)</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Inhalt:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwingkreise</li> <li>• Wirkungsweise eines Oszillators für elektromagnetische Schwingungen</li> <li>• gedämpfte und ungedämpfte Schwingungen</li> <li>• Überlagerung von elektromagnetischen Schwingungen</li> <li>• Anwendungsgebiete: Verkehrssteuerung, Uhren, elektronische Musik</li> <li>• Experimente zur Erzeugung und Anwendung elektromagnetischer Schwingungen</li> </ul>

## 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.

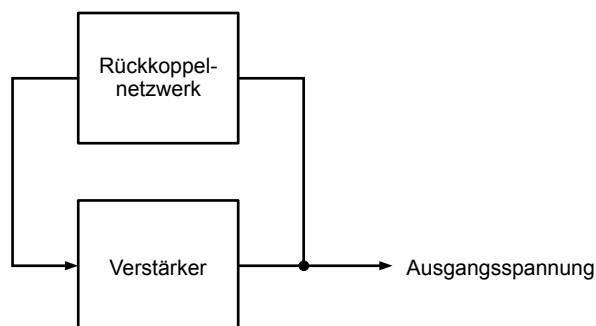


Abb. 1

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.

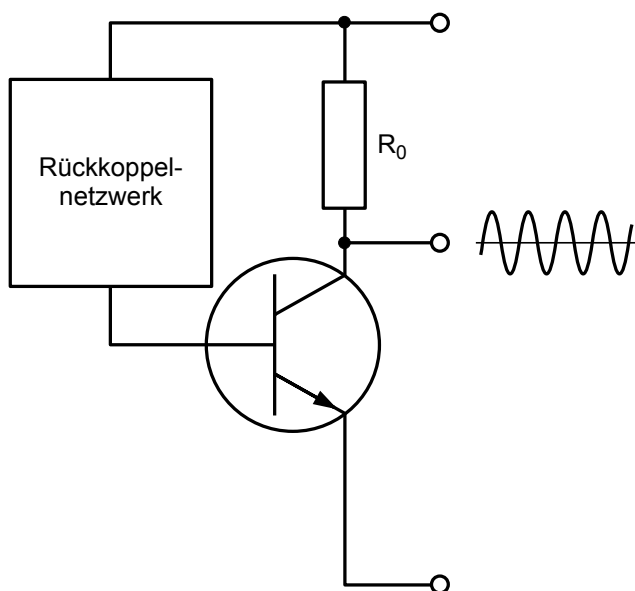


Abb. 2

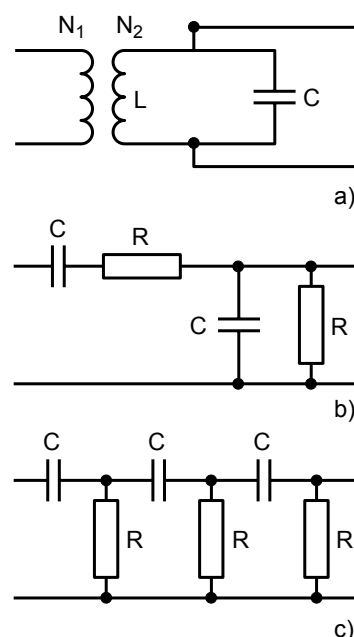


Abb. 3

Da ein Verstärker in Emitterschaltung die Phase zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung um  $180^\circ$  dreht, muss das Rückkoppelnetzwerk eine weitere Phasendrehung um  $180^\circ$  gewährleisten. Ist das Rückkoppelnetzwerk ein LC-Schwingkreis, wird die auf den Eingang zurückzuführende Wechselspannung mithilfe einer induktiv an die Schwingkreisspule  $N_2$  gekoppelten Rückkopplungsspule  $N_1$  dem Schwingkreis entnommen (Abb. 3a).  $N_1$  und  $N_2$  bilden einen Transformator, der eine Phasendrehung von  $180^\circ$  hervorruft. Die Frequenz eines LC-Oszillators hängt von den frequenzbestimmenden Bauelementen Spule und Kondensator ab. Sie wird nach der **Thomson'schen Schwingungsgleichung**

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

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  $0^\circ$  und  $90^\circ$  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  $180^\circ$  hervorruft. Jedes RC-Glied verschiebt dabei um  $60^\circ$ , sodass mit drei Gliedern bei genau einer Frequenz die gesamte Phasendrehung von  $180^\circ$  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 Bayern sieht für die Jahrgangsstufe 11/12 vor: „11.5 Elektromagnetische Schwingungen und Wellen (ca. 24 Std.)“.

Die **Erzeugung elektromagnetischer Schwingungen** knüpft im Physikunterricht direkt an die Physik elektrischer und magnetischer Felder an. Dabei können Sie auf die Vorkenntnisse der Schüler in Bezug auf Eigenschaften von Spulen und Kondensatoren aufbauen. Ein Schwerpunkt bei der Behandlung der elektromagnetischen Schwingungen im Physikunterricht sind neben ihrer Erzeugung quantitative Betrachtungen zur Periodendauer (**Thomson'sche Schwingungsgleichung**) und das Phänomen der **Resonanz**.

Ein wesentliches Mittel zur effektiven Gestaltung des Lernprozesses ist die **Nutzung von Analogien** zu den **mechanischen Schwingungen** (siehe RAAbits-Beitrag **I/B Reihe 25**, „**Eine Einführung in die Lehre der Schwingungen und Wellen**“, 9./10. Schuljahr, August 2014). Das gilt insbesondere für die Vorgänge in einem Schwingkreis, die man sehr gut mit den Vorgängen bei einem Fadenpendel oder einem horizontalen Federpendel vergleichen kann, sowie für die Erscheinung der Resonanz. Auch zur Herleitung des Zusammenhangs zwischen Periodendauer, Induktivität und Kapazität können Sie von Analogiebetrachtungen zu den mechanischen Schwingungen ausgehen.

Eine interessante Alternative zur Gestaltung des Unterrichts sind **Simulationen**. Gut gemachte Beispiele zum Thema elektromagnetische Schwingungen finden Sie im Internet (siehe Mediathek).

Für **Experimente** mit elektromagnetischen Schwingungen im Physikunterricht benötigen Sie neben Geräten der Grundausstattung (Netzgeräte, Amperemeter und Voltmeter, Oszilloskop) einen Gerätesatz zur Elektrizitätslehre (Widerstände, Spulen, Kondensatoren ...). In älteren Physiksammlungen finden sich noch Gerätesätze, die auf größeren Schaltbrettern komplette Schaltungen enthalten. Diese Gerätesätze ermöglichen einen schnellen und übersichtlichen Aufbau, sind allerdings in ihren Variationsmöglichkeiten erheblich eingeschränkt. Neuere Entwicklungen nutzen universell einsetzbare Vertikaldemonstrations tafeln, die es in verschiedenen Ausführungen gibt. Dadurch ergeben sich sehr übersichtliche Experimentieraufbauten, die den Schaltbildern weitgehend entsprechen. Für Schülerexperimente werden Gerätesätze angeboten, die Rasterplattensysteme oder Steckbretchen verwenden.

Bei den Netzgeräten wird eine stufenlose Verstellbarkeit vorausgesetzt. Zum Nachweis der elektromagnetischen Schwingungen können Sie, wenn die Frequenzen kleiner als 5 Hz sind, Drehspulmessgeräte mit Nullpunktmittellage, Glühlampen oder Leuchtdioden einsetzen. Für höhere Frequenzen sind Lautsprecher und Oszilloskope geeignet.

Um die unterschiedliche Ausstattung der Schulen zu berücksichtigen, werden die Experimente durchweg nur als prinzipielle Schaltbilder dargestellt. Fast immer ist es möglich, die angegebenen Werte bei Widerständen, Spulen und Kondensatoren durch Werte ähnlicher Größen zu ersetzen. Es ist lediglich zu beachten, dass die zulässigen **Belastungshöchstwerte nicht überschritten** werden.

Die Experimentieranordnungen, in denen hochfrequente elektromagnetische Schwingungen auftreten, sind im Sinne des Telekommunikationsgesetzes funktstörende Hochfrequenzanlagen. Deshalb sind alle Experimentieranordnungen so dimensioniert, dass es nicht zur Abstrahlung störender elektromagnetischer Wellen kommen kann.

Eine Alternative zu den Realexperimenten sind interaktive **Bildschirmexperimente** (IBE). Sie stellen eine Weiterentwicklung des Realfilms dar und ermöglichen das Experimentieren am Computerbildschirm. Das IBE vereint die vorteilhaften Eigenschaften eines Realfilms mit den lernrelevanten Eigenschaften der interaktiven Simulation. Beispiele zum Thema elektromagnetische Schwingungen finden Sie im Internet.

Im **Mai 2015** erscheint ein Folgebeitrag zu den Anwendungen elektromagnetischer Schwingungen.



# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Elektromagnetische Schwingungen - fachliche Grundlagen,  
Anwendungen und Experimente (Teil I)*

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](http://School-Scout.de)

