



# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Mikrophon und Lautsprecher: Mikrophon und Lautsprecher*

Das komplette Material finden Sie hier:

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



## III.21

### Natur und Technik

# Umwandlung von Schall in Strom und Strom in Schall – Mikrofon und Lautsprecher

Benjamin Streit



© RAABE 2020

© Vasily Dolmatov/Stock/Getty Images Plus

Mikrophone und Lautsprecher sind wesentliche Bestandteile aller Unterhaltungselektronik und Kommunikationstechnik. Man findet sie in Stereoanlagen, Fernsehern, MP3-Playern sowie in Telefonen, Handys, Smartphones, Laptops usw. In dieser Einheit werden zunächst die physikalischen und methodischen Grundlagen zur Umwandlung von Schall in Strom mithilfe von Mikrofonen und von Strom in Schall mithilfe von Lautsprechern vermittelt. Experimente dienen der Vertiefung und dem genaueren Hinterfragen der Funktionsweise von technischen Alltagsgegenständen.

---

#### KOMPETENZPROFIL

<b>Klassenstufe:</b>	7–10
<b>Dauer:</b>	9 Unterrichtsstunden
<b>Kompetenzen:</b>	Die Schüler 1. beschreiben Schall als mechanisches Phänomen; 2. beschreiben die Funktionsweise von Mikrofonen und Lautsprechern und unterscheiden verschiedene Arten; 3. beschreiben die Umwandlung von Schall in Strom und wieder in Schall mithilfe eines elektromechanischen Wandlers; 5. zeichnen Schaltpläne
<b>Thematische Bereiche:</b>	Mechanik/Akustik: Schall, Elektrotechnik: Mikrophone, Lautsprecher, Funktion von elektronischen Alltagsgegenständen

---

## Rund um die Reihe

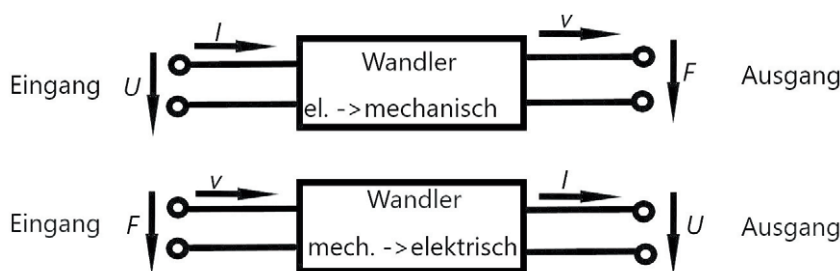
### Warum wir das Thema behandeln

Ihre Schüler sind täglich und mit fortschreitender Technisierung und Digitalisierung von einer stetig anwachsenden Zahl von Mikrophonen und Lautsprechern umgeben. In jedem Laptop, Tablet oder Smartphone sind mindestens ein Mikrophon und mindestens zwei Lautsprecher verbaut. Um einen Einstieg in das Verständnis der Funktionsweise moderner Technik und deren Entwicklung zu bieten, soll in dieser Unterrichtseinheit anhand von Mikrophonen und Lautsprechern die Umwandlung von Schall in Strom und Strom in Schall erklärt werden.

### Was Sie zum Thema wissen müssen

Mechanische Schwingungen, wie zum Beispiel Schallwellen, werden fast ausschließlich auf dem Umweg über elektrische Größen gemessen, übertragen und größtenteils auch erzeugt. Für diese Umsetzung der mechanischen Schwingung in elektrische Schwingungen und umgekehrt benötigt man elektromechanische Wandler. Diese elektromechanischen Wandler lassen sich als **Vierpol** darstellen. Dabei sind jeweils zwei der vier Pole der Eingang und die anderen beiden Pole der Ausgang. Je nachdem in welcher Richtung die Umwandlung stattfindet, spricht man von einem **Sender** oder einem **Empfänger**. Der Sender hat auf der Eingangsseite die elektrischen Größen Spannung  $U$  und Stromstärke  $I$  als Variablen und auf der Ausgangsseite die mechanischen Größen Kraft  $F$  und Schallschnelle  $v$ . Beim Empfänger ist es genau umgekehrt, die mechanischen Größen liegen am Eingang an und die elektrischen Größen am Ausgang. Es gibt aufgrund dieser Symmetrie im Aufbau viele reversible Wandler, die sowohl als Empfänger als auch als Sender eingesetzt werden können, aber es gibt auch nicht reversible, wie z. B. das Kohlemikrophon.

Verschiedene Typen von Wandlern unterscheiden sich in ihrer Funktionsweise, u. a. in der Verknüpfung der mechanischen und elektrischen Größen. Beim **elektrodynamischen Wandler** findet man eine Proportionalität zwischen Kraft und Strom sowie zwischen Schallschnelle und Spannung, während beim **piezoelektrischen Wandler** Proportionalität zwischen Kraft und Spannung sowie zwischen Schallschnelle und Strom herrscht. Bei allen anderen Typen von Wandlern ist die Kraft proportional zu dem Quadrat einer elektrischen Größe und man muss zur Linearisierung ein zusätzliches elektrisches oder magnetisches Feld verwenden.



Grafik: Benjamin Streit

Den einfachsten Aufbau haben **elektrodynamische Wandler**. Sie werden am häufigsten für die Elektroakustik genutzt. Fast alle Lautsprecher, dynamische Mikrophone, dynamische Tonabnehmer und viele andere dynamische Elemente sind so aufgebaut. Unter Vernachlässigung des Widerstands erhält man folgende Beschreibung des Problems:

Ein Strom  $I$  fließt durch einen Leiter der Länge  $l$ , der sich in einem Magnetfeld der Flussdichte  $B$  senkrecht zum Leiter befindet. Dadurch wirkt auf ihn die Kraft:

$$F = B \cdot l \cdot I$$

Wenn sich der Leiter dabei mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt, benötigt man die Spannung  $U$ , um einerseits den Strom  $I$  aufrechtzuerhalten und andererseits damit die mechanische Leistung gleich der elektrischen Leistung ist:

$$F \cdot v = U \cdot I$$

Kombiniert man die beiden Gleichungen, so erhält man für die Spannung:

$$U = B \cdot l \cdot v$$

Die Gleichung für die Kraft  $F$  (das Kraftgesetz) und die Gleichung für die Spannung  $U$  bilden zusammen die Grundgleichungen des elektrodynamischen Wandlers.

Der Aufbau eines elektrodynamischen Wandlers ist in der Regel wie folgt: in dem Ringspalt eines zylindrischen Permanentmagneten mit sehr homogenem radialem Magnetfeld  $B$  kann eine Tauchspule in axialer Richtung schwingen. An diese Spule ist ein mechanisches Übertragungssystem gekoppelt (Membran bei Mikrofon und Lautsprecher, Diamant- oder Saphirspitze beim Tonabnehmer eines Schallplattenspielers).

**Piezoelektrische Wandler** nutzen den piezoelektrischen Effekt. An den Oberflächen bestimmter Kristalle entstehen durch Deformation elektrische Ladungen. Genauso kann man umgekehrt diese Kristalle durch das Anlegen einer Spannung verformen. Es gibt sowohl in der Natur vorkommende piezoelektrische Stoffe (z. B. Quarz, Kalium-Natrium-Tartrat) als auch synthetisch hergestellte piezoelektrische Stoffe (z. B. ADP, CdS, Galliumarsenid, Lithiumniobat, PZT). Ein piezoelektrischer Wandler ist einfach aufgebaut. Man braucht nur ein geeignet geformtes Stück piezoelektrisches Material mit elektrischen Anschlüssen und mechanischen Ansatzpunkten auszustatten. Die genaue Berechnung eines solchen Wandlers ist allerdings deutlich komplizierter als die Berechnung eines elektrodynamischen Wandlers, da aufgrund der Richtungsabhängigkeit aller vorkommenden elektrischen und mechanischen Größen mit Tensoren gerechnet werden muss.

Ein weiterer Wandlertyp ist der **dielektrische Wandler** (auch elektrostatischer oder kapazitiver Wandler genannt). Hier wird die Kraft zwischen den Platten eines aufgeladenen Kondensators genutzt, indem als eine Elektrode des Kondensators eine dünne bewegliche leitfähige Membran genutzt wird und als zweite Elektrode eine massive leitende Platte. Im Unterschied zu den beiden vorher genannten Wandlern besteht hier eine quadratische Abhängigkeit zwischen der Kraft und der Spannung. Zur Linearisierung benötigt man eine statische Vorspannung  $U_0$ .

Weitere Typen von Wandlern sind der **elektromagnetische Wandler**, bei dem die Kraftwirkung eines Elektromagneten auf einen Weicheisenanker genutzt wird, und der **magnetostriktive Wandler**, bei dem die Längenänderung abhängig von der Magnetisierung in magnetisierbaren Stoffen genutzt wird.

### Mikrophone

Mikrophone sind im oben genannten Sinn elektromechanische Empfänger. Sie wandeln die mechanische Schwingung einer Schallwelle in eine elektrische Schwingung um. Mikrophone unterscheiden sich, außer in dem eingesetzten Wandler, auch noch in ihrer akustischen Bauform. Bei

dem Druckmikrofon oder ungerichteten Mikrofon folgt die Membran dem Schalldruck und bei dem Druckgradientenmikrofon oder gerichtetem Mikrofon dem Schalldruckgradienten. Der eingesetzte Wandler ist maßgeblich entscheidend für die technische Qualität des Mikrophonsignals, die durch Rauschabstand, Impulstreue, Klirrfaktor und Frequenzgang charakterisiert wird.

Man unterscheidet nach dem eingesetzten Wandler dynamische Mikrophone, Kondensatormikrophone, Elektret-Kondensatormikrophone, Kohlemikrophone und Piezo- oder Kristallmikrophone.

**Dynamische Mikrophone** sind elektrodynamische Wandler und werden in der Regel im Live-Einsatz genutzt und zur Verstärkung von Schlagzeugen, vereinzelt auch für Vokal- oder Instrument-Aufnahmen eingesetzt. Es gibt zwei Arten von dynamischen Mikrofonen, die jeweils nach ihrem Aufbau benannt sind:

- Das **Tauchspulenmikrofon** ist so aufgebaut wie im Abschnitt über elektrodynamische Wandler beschrieben. Es ist durch seinen Aufbau relativ robust gegenüber mechanischen Belastungen, verträgt hohe Schalldrücke (vorteilhaft bei Gesang und lauten Instrumenten), benötigt keine Spannungsversorgung, da die notwendige Spannung durch Induktion im Mikrofon selbst erzeugt wird, und ist relativ preisgünstig.
- Das **Bändchenmikrofon** unterscheidet sich deutlich im Aufbau vom Tauchspulenmikrofon. Die Membran des Bändchenmikrophons ist ein nur wenige Mikrometer dicker zickzack-gefalteter Aluminiumstreifen von zwei bis vier Millimetern Breite und einigen Zentimetern Länge. Sie befindet sich im Feld eines Permanentmagneten. Bei Anregung durch eintreffenden Schall induziert die Bewegung des Bändchens im Magnetfeld eine Spannung, die an den Enden des Aluminiumstreifens abgegriffen werden kann.

Das **Kondensatormikrofon** ist ein dielektrischer Wandler. Es gibt sehr viele Erscheinungsformen von Kondensatormikrofonen, allen gemeinsam ist das physikalische Prinzip. Eine wenige Tausendstel Millimeter dicke, elektrisch leitfähige Membran wird dicht vor einer Metallplatte elektrisch isoliert angebracht (entweder mit Luft dazwischen oder einem verformbaren Dielektrikum). Durch eintreffenden Schall schwingt die Membran, der Abstand der Kondensatorfolie und der Metallplatte ändert sich und damit auch die Kapazität des Kondensators. Das Kondensatormikrofon ist wegen seiner hohen Signalqualität der aktuelle Aufnahmestandard in Tonstudios. Der Nachteil dieses Mikrophons ist eine hohe Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit jeder Art. Hoher Schalldruck kann das Mikrofon beschädigen.

Das **Elektretmikrofon** benutzt das gleiche Wandler-Prinzip wie das Kondensatormikrofon, unterscheidet sich aber leicht im Aufbau. Auf die massive Kondensatorplatte ist eine Elektretfolie aufgebracht. Diese Folie ist elektrisch isolierend, enthält aber eine quasi permanente Ladungsverteilung und erzeugt somit ein konstantes elektrisches Feld, entsprechend dem magnetischen Feld eines Permanentmagneten. Außerdem beinhaltet die Mikrofonkapsel noch einen Transistor, der die schwachen Signalströme verstärkt. Es benötigt eine viel geringere Spannung als ein reines Kondensatormikrofon und hat einen geringen Strombedarf, wodurch es für den Einsatz in mobilen Geräten sehr geeignet ist.

Das **Kohlemikrofon** benutzt zur Wandlung ein hinter der Membran gelagertes Kohlegranulat, das abhängig vom Druck durch die auftreffenden Schallwellen seinen Übergangswiderstand ändert. Allerdings haben Kohlemikrophone aufgrund dieses Aufbaus einige unerwünschte Effekte, unter anderem verursachen die Kohlekörner bei Bewegung Rauschen. Der Hauptvorteil des Kohlemikrophones ist ein hohes Ausgangssignal, das ohne zusätzliche Verstärkung zur Fernübertragung und Wiedergabe mit einer elektromagnetischen Hörkapsel genutzt werden konnte. Daher wurde es früher in fast allen Telefonen verwendet, bis es ab ca. 1970 Stück für Stück durch dynamische oder Elektretmikrophone mit besserer Sprachqualität abgelöst wurde.

Das **Piezomikrofon** ist ein piezoelektrischer Wandler. Die Membran ist mechanisch mit einem

piezoelektrischen Element verbunden, sodass dieses durch die Bewegung der Membran minimal verformt wird und elektrische Spannungsschwankungen aussendet. Dieser Mikrophontyp ist einfach aufgebaut und sehr robust, konnte sich in der frühen Telekommunikation jedoch nicht gegen das Kohlemikrophon durchsetzen, da es zu Verzerrungen neigt. Piezoelektrische Wandler werden aber oft als Tonabnehmer in Schallplattenspielern und ähnlichen Anwendungsbereichen eingesetzt.

### Lautsprecher

Lautsprecher sind im oben genannten Sinn elektromechanische Sender. Sie wandeln eine elektrische Schwingung in die mechanische Schwingung einer Schallwelle um. Lautsprecher unterscheiden sich in dem eingesetzten Wandler und in ihrer Bauform. Innerhalb einer Sorte kann es außerdem verschieden geformte Membrane geben. Die Größe variiert zwischen sehr kleinen Formen, die beispielsweise bei In-Ear-Kopfhörern zum Einsatz kommen, bis hin zu dem Einsatz von mehrere Meter hohen Säulen für Großkonzerte.

Analog zu den Mikrophonen gibt es auch dynamische Lautsprecher. Hierzu zählen der Tauchspulenlautsprecher und die Gruppe der magnetostatischen Lautsprecher, bestehend aus Bändchen, Folien-Magnetostat und Jet-Hochtöner. Außerdem gibt es den Elektrostat, den Piezo-Lautsprecher analog zum Piezomikrophon, den elektromagnetischen Lautsprecher und den Plasmalautsprecher. Die **dynamischen Lautsprecher** entsprechen vom Aufbau und der Funktionsweise den namensverwandten Mikrophonen, lediglich die Arbeitsrichtung des Wandlers ist jeweils umgekehrt. Der wesentliche Unterschied zwischen den **magnetostatischen Lautsprechern** und den **Tauchspulenlautsprechern** ist, dass die Spule der magnetostatischen Lautsprecher auf die Membran aufgebracht wird und die komplette Membran sich innerhalb eines mit Luftschlitzen oder -löchern versehenen Permanentmagneten befindet, während bei den Tauchspulenlautsprechern nur die Spule ins Magnetfeld eintaucht.

Der **Elektrostat** ist quasi eine Umkehrung des Magnetostaten. Das Signal liegt nicht an der Spule an, die mit der Membran verbunden ist, sondern an den sie umgebenden Elementen: zwei Elektrodengittern (auch Statoren genannt), die im Gegentakt arbeiten.

**Piezo-Lautsprecher** finden oft Anwendung bei der Vertreibung von Insekten oder anderen Tieren mittels Ultraschalles.

**Elektromagnetische Lautsprecher** sind elektromagnetische Wandler mit meist etwas blechernem Ton und **Plasmalautsprecher** finden aufgrund neuer Sicherheitsverordnungen kaum noch Anwendung.

## Vorschläge für die Unterrichtsgestaltung

### Voraussetzungen der Lerngruppe

Diese Unterrichtreihe setzt keine fachlichen Kenntnisse Ihrer Schüler voraus. Für die Schülerversuche ist es von Vorteil, wenn die Lernenden bereits selbstständig Versuche durchgeführt und protokolliert haben, die entsprechenden Stellen in den Materialien und den dazugehörigen Erläuterungen sind jedoch so ausführlich verfasst, dass sie auch einen ersten Einstieg ohne Vorerfahrung ermöglichen.

### Aufbau der Reihe

Das Ziel der ersten Stunde ist es, die Schüler auf das Thema Schall neugierig zu machen und sie für das Wahrnehmen und Messen von physikalischen Eigenschaften zu sensibilisieren. Zunächst werden die Schüler in **M 1** anhand der physikalischen Eigenschaften von Schall an die Grundlagen des Themas Mikrophon und Lautsprecher herangeführt. Sie können das **Material M 1** beispielsweise unter der Dokumentenkamera zeigen und den Arbeitsauftrag mit den Schülern durchgehen. Die



Schüler bearbeiten in Kleingruppen die Aufgaben 1 bis 4. Sie machen sich hierfür stichwortartige Notizen. Danach präsentieren die Gruppen ihre Ergebnisse. An der Tafel oder auf einer Folie werden die wichtigsten gemeinsamen Ergebnisse festgehalten.

Ziel der zweiten Stunde ist es, die Schüler an die rein mechanische Erzeugung und Übertragung von Schall heranzuführen. Zu Beginn wird gemeinsam der Text von **M 2** gelesen oder vorgelesen und gemeinsam Aufgabe 1 bearbeitet. Die Versuche zu Mikrofonen und Lautsprechern können dann in Kleingruppenarbeit erledigt werden. Wie das Protokoll zu führen ist und die Auswertung erfolgt, wird im Detail in der Lösung zu den Aufgaben 3 und 4 erläutert. Anschließend werden die Ergebnisse im Plenum zusammengetragen und ggf. ergänzt.

Ziel der dritten Stunde ist es, die Schüler auf Mikrofone an technischen Geräten aufmerksam zu machen und deren Funktionsweise zu beschreiben. Die Aufgaben von **M 3** können in Einzel- oder Kleingruppenarbeit erledigt werden.

In der fünften Stunde soll den Lernenden die Arbeit mit elektrischen Stromkreisen nahegebracht und ein tieferes Verständnis der Funktion eines speziellen Mikrophons ermöglicht werden. Hierzu wird im Schülerversuch von **M 4** ein Kohlemikrofon selbst gebaut und getestet. Alternativ kann das Mikrofon auch noch an ein Oszilloskop angeschlossen werden, welches die erzeugten Schwingungen sichtbar macht.

In der nächsten Doppelstunde folgt anhand von **M 5** und **M 6** eine Sequenz zu Lautsprechern. Anschließend wird die Lernstands-Überprüfung **M 7** zum Abschluss der Reihe durchgeführt.

### Tipps zur Differenzierung

Ein Großteil der Unterrichtsreihe ist für den offenen Unterricht geeignet und bietet daher die Möglichkeit, die Schüler in ihrem eigenen Lerntempo Aufgaben bearbeiten zu lassen. Hinweise auf die möglicherweise nötigen Hilfestellungen für die Schüler finden Sie in den jeweiligen Erläuterungen und Lösungen zu den einzelnen Einheiten. Während der vorgesehenen Gruppenarbeitsphasen haben die Schüler die Möglichkeit, sich mit ihren unterschiedlichen Fähigkeiten zu ergänzen und gegenseitig zu stärken.

### Medientipps

- ▶ <https://www.elektronik-kompodium.de/>  
Diese Webseite ist für Schüler gedacht, die sich allgemein verständlich über Elektronik informieren wollen. Hier findet man Erklärungen zu fast allen elektronischen Bauteilen sowie viele Beispiele für Schaltungen usw. Ursprünglich ein rein privates Projekt, inzwischen kommerziell genutzt, aber mit einem noch relativ erträglichen Maß an Werbung.
- ▶ <https://www.kids-and-science.de/wie-funktioniert/detailansicht/datum/2016/11/11/wie-funktioniert-ein-lautsprecher.html>  
Seite speziell für Kinder mit einfachen Erklärungen zu naturwissenschaftlichen Themen.
- ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=1xhonGenops>  
Aus der ARD-Reihe „Wissen macht Ah!“: „Wie funktioniert ein Mikrofon?“
- ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=0BsB2BzaZJA>  
In diesem Video aus einem Online-Tontechnik-Lehrgang wird sehr ausführlich erklärt, wie ein elektrodynamischer Wandler (Lautsprecher) funktioniert.

## Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Fo = Folie, LEK = Lernerfolgskontrolle, SV = Schülerversuch

---

### 1./2. Stunde

**Thema:** Schall

**M 1** (Ab)

**Was ist Schall?**

**M 2** (SV)

**Schall als mechanisches Phänomen**

**Benötigt:**

- 2 leere Joghurtbecher oder 2 leere Konservendosen ohne Deckel
  - 1 Streichholz ohne Kopf
  - 1 Rolle Garn oder Faden
  - 1 Schere
  - 2 gleiche Weingläser
  - 1 Stück Draht
  - Wasser
  - 1 Gabel
- 

### 3.–5. Stunde

**Thema:** Mikrophone

**M 3** (Ab)

**Das Mikrophon**

**Hausaufgabe:**

Zu Hause nachfragen, ob ein einfacher Kopfhörer mit Stecker mitgebracht werden kann.

**M 4** (SV)

**Mini-Mikrophon selbst bauen**

**Benötigt:**

- Pro Gruppe für den Schülerversuch:
- 4,5-Volt-Blockbatterie
  - Schublade einer Streichholzsachtel
  - 2½ Bleistiftminen
  - Klingeldraht
  - Kopfhörer mit Klinkenstecker oder kleinen Lautsprecher



## 6.–8. Stunde

**Thema:** Lautsprecher

**M 5** (Ab)

**Lautsprecher**

**M 5a** (Fo)

**Tauchspulenlautsprecher**

**M 6** (Ab/SV)

**Einen Lautsprecher selbst bauen**

**Benötigt:**

- Kartondeckel aus leichter Wellpappe (z. B. Schuhkarton), etwa 20 cm breit und etwa 30 cm lang
- ein Stück festes Papier oder dünner Karton für die Spule
- etwa 9 m Kupferlackdraht, Durchmesser 0,20 mm
- 2 blanke Büroklammern und ein kleines Stück feines Schleifpapier
- Schere, Klebstoff, Klebeband
- 2 Gewichte (200 g oder 500 g)
- ein Neodym-Stabmagnet
- Stativmaterial zur Befestigung des Magneten
- CD-Player, Radio oder Stereo-Anlage mit Anschluss für externen Lautsprecher
- Frequenzgenerator
- 2 Krokodilklemmen oder Drähte

## 9. Stunde

**Thema:** Lernerfolgskontrolle

**M 7** (LEK)

**Teste dich selbst! – Was weißt du über Schall, Mikrophone und Lautsprecher?**

### Minimalplan (5 Stunden)

Ihnen steht sehr wenig Zeit zur Verfügung oder Ihnen fehlen die Materialien für die Versuche aus M 4 und M 6? Diese Unterrichtsreihe kann in 5 Stunden unterrichtet werden. Führen Sie M 1 und M 2 in den ersten beiden Stunden normal durch. Führen Sie M 3 in der dritten Stunde durch, dann M 5 in der vierten Stunde und geben Sie jeweils die Rechercheaufgaben als Hausaufgabe auf. **M 4 und M 6** werden **weggelassen**. In der fünften Stunde schreiben Sie dann zum Abschluss die Lernerfolgskontrolle.



# SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

**Auszug aus:**

*Mikrophon und Lautsprecher: Mikrophon und Lautsprecher*

Das komplette Material finden Sie hier:

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

