

1 Elektrodynamische Lautsprecher

Lautsprecher sind Wandler, die ein tonfrequentes Signal in mechanische Schwingungen – als Schall wahrnehmbar – umwandeln. Sie dienen zur Wiedergabe von Sprache und Musik im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz. In der Kette der Audiosignalnutzung sind sie das letzte Glied.

1.1 Tauchspulenlautsprecher

Tauchspulenlautsprecher gehören zur Gruppe der dynamischen Lautsprecher. Bei diesem verbreiteten Lautsprechertyp bewegt sich eine vom verstärkten Audiosignal durchflossene Schwingspule (od. Tauchspule) im Feld eines Permanentmagneten. Fließt ein Strom durch die Spule, so wird diese in das Magnetfeld hineingezogen oder – abhängig von der Stromflussrichtung – abgestossen. Die Schwingspule ist mit der Lautsprechermembran verbunden, so dass diese im Rhythmus des Audiosignals mitschwingt.

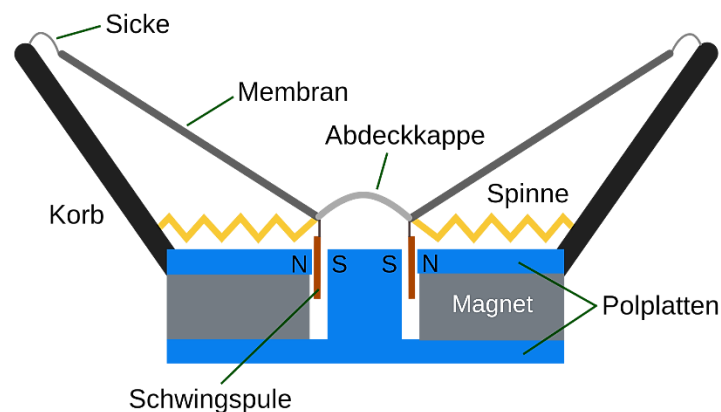


Abb. 1: Konstruktionsprinzip eines Tauchspulenlautsprechers¹

Eine Tauchspule, welche mit einer Zentrierspinne fixiert wird, treibt die am Korb elastisch eingespannte Membran an.

Als Magnetwerkstoffe werden Ferrite, Aluminium-Nickel-Kobalt (Alnico) oder Neodym-Eisen-Bor (NdFeB) eingesetzt. Neodym-Magnete besitzen ein starkes Feld, aber eine niedrige Curie-Temperatur² von ca. 200 °C.

Die elektrodynamischen Lautsprecher können unterteilt werden in:

- Kalottenlautsprecher für Hochtonwiedergabe
- Bändchenlautsprecher für Hochtonwiedergabe
- Konuslautsprecher für Mittel- und Tieftonwiedergabe

1.2 Kalottenlautsprecher

Die verbreitetste Bauform ist die Hochtonkalotte, die nach dem gleichen physikalischen Prinzip wie ein Konuslautsprecher (Tauchspulenlautsprecher) arbeitet, der sich bereits für den

¹ https://de.wikipedia.org/wiki/Dynamischer_Lautsprecher

² Als Curie-Temperatur wird die materialspezifische Grenztemperatur bezeichnet, bei welcher ein Dauermagnet seine Magnetisierung verliert.

Tief- und den Mitteltonbereich durchgesetzt hat. Kalottenlautsprecher sind dynamische Lautsprecher, die eine halbkugelförmig nach aussen gewölbte Membran besitzen. Die Schwingspule ist direkt mit dem Kalottenrand verbunden. Der Einsatz erfolgt überwiegend im Hochtonbereich, eher selten im Mitteltonbereich.

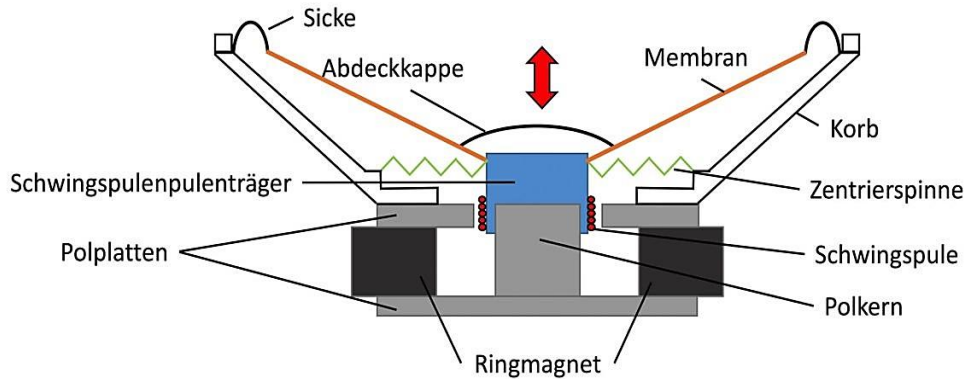


Abb. 2: Konstruktionsprinzip eines Kalottenlautsprechers³

1.3 Bändchenlautsprecher

Der entscheidende Unterschied zum Tauchspulenlautsprecher ist, dass anstelle einer Tauchspule eine Bändchen (meist eine Folie aus Aluminium) im Feld eines Dauermagneten schwingt, sobald ein tonfrequenter Strom durch das Bändchen fließt.

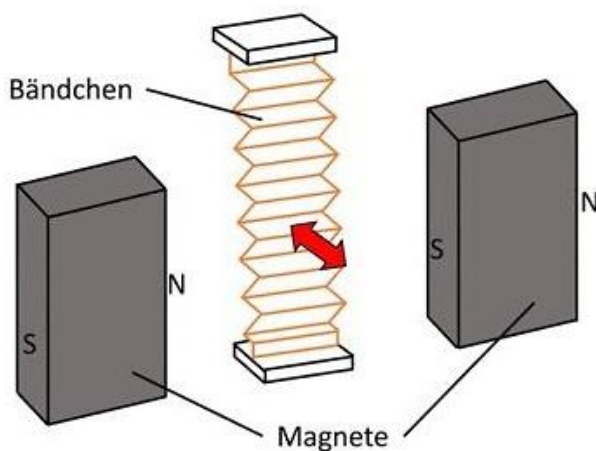


Abb. 3

Konstruktionsprinzip eines Bändchenlautsprechers⁴

Durch den direkten Antrieb der Membran sowie das geringe Membrangewicht besitzen Bändchenhoctöner ein sehr gutes Impulsverhalten, was sich in einer besonders klaren Hochtonwiedergabe äußert.



Abb. 4

Hybridhoctöner (Dali)

Kombination aus Bändchen- und Kalottenlautsprecher.

Der Frequenzbereich von Bändchenlautsprechern liegt oberhalb von 1 kHz und reicht weit über die Hörgrenze hinaus. Der Wirkungsgrad ist gering und die Impedanz mit etwa einem

³ <https://www.heimkinoraum.de/tests/baendchen-vs-kalotte-ist-hochton-gleich-hochton-154>

⁴ <https://www.heimkinoraum.de/tests/baendchen-vs-kalotte-ist-hochton-gleich-hochton-154>

Ohm niedrig. Aufgrund dessen müssen Bändchenlautsprecher mit Stromtreibern oder Impedanzwandlern betrieben werden.

Durch die konvexe Membranwölbung erreicht man einen im Vergleich zum Konuslautsprecher breiteren Abstrahlwinkel. Dies ist deshalb wichtig, weil beim Konuslautsprecher die Schallkeule mit zunehmender Frequenz schmaler wird. Die Konusform wirkt diesem Effekt entgegen und verbessert so die Wahrnehmung hoher Töne.

2 Weitere Lautsprecherarten

2.1 Hornlautsprecher

Für die Wiedergabe mittlerer und hoher Töne werden oft Hornlautsprecher verwendet. Hornlautsprecher haben eine hohe Dynamik, eine geringe Verzerrung und infolge der Schallbündelung einen grossen Wirkungsgrad.

In den Musikboxen der sechziger Jahre wurde nebst einem Basslautsprecher oft ein Exponentialhorn eingebaut. Der Name stammt vom Verlauf des Querschnittes des Horns, vom Hals bis zum Mund, welcher einer Exponentialfunktion folgt.

Grundsätzlich bestehen Hornlautsprecher aus einem Horntrieb und dem eigentlichen Hornstrahler. Der Horntrieb arbeitet meist nach dem elektrodynamischen Prinzip. Horntrieb können zusätzlich mit einer Druckkammer kombiniert werden; diese besteht aus einer Verengung der Schallführung vor dem eigentlichen Horn, wodurch der Schalldruck ansteigt. Druckkammern steigern den Wirkungsgrad, erhöhen aber den Klirrfaktor.

2.2 Piezolautsprecher

Im Low-Cost Bereich werden gerne Piezo-Wandler eingesetzt. Die Wirkungsweise solcher Systeme beruht auf dem *Piezoelektrischen Effekt*.

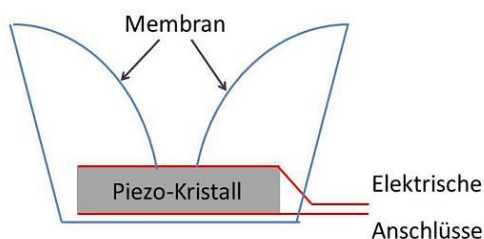


Abb. 5:
Konstruktionsprinzip eines Piezo-Wandlers⁵



Abb. 6
Piezo Horn-Hochtöner

Wird ein Piezo-Kristall (z.B. α -Quarz) einem Druck oder Zug ausgesetzt, entsteht eine elektrische Spannung. In umgekehrtem Sinne beginnt sich ein Piezo-Kristall zu verformen, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird. Handelt es sich um eine Wechselspannung, so beginnt der Kristall im Rhythmus des beaufschlagten Signals zu schwingen.

⁵ http://wmisargans.ch/html_css/2014/raffael/theorieteil.html

2.3 Subwoofer

Subwoofer sind für den Tieftonbereich, d.h. für die Wiedergabe von Bässen, konzipierte dynamische Lautsprecher. In Gehäuse eingebaut kommen sie als geschlossene Systeme, Bassreflexsysteme und Bandpaßsysteme zur Anwendung. Aktive Subwoofer besitzen eine integrierte Endstufe.

Ein *Bassreflexsystem* nutzt nicht nur den Direktschall, sondern auch den vom Lautsprecher nach innen abgegebenen Schall. Da dieser Schall gegenphasig zu dem nach vorne abgestrahlten Schall ist, muss die Phase gedreht werden, ansonsten würden sich die Schallwellen gegenseitig auslöschen. Durch die Gehäuseöffnung (Schallloch) wird eine akustische Masse (verdichtete Luft) transportiert, welche zusammen mit dem von der Membran erzeugte Schall einen höheren Schalldruck erzeugt, als bei einer geschlossenen Box.



Abb. 7: Geschlossenes Gehäuse⁶

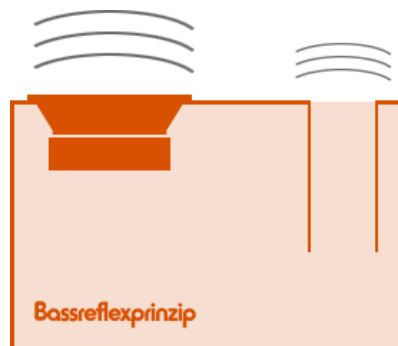


Abb. 8: Bassreflexbox mit Schallöffnung

Die Vorteile des Reflexprinzips beschränken sich auf den Tieftonbereich. Daraus hat sich der Ausdruck "Bassreflex" entwickelt, was u.a. darauf hinweist, dass das Bassreflex-Prinzip sich auch zur Optimierung einer Subwoofer-Konstruktion eignet.

2.4 Breitbandlautsprecher

Breitbandlautsprecher dienen zur Wiedergabe des mittleren Tonbereiches und gehören in der Regel zu den dynamischen Lautsprechern. Gelegentlich findet man auch Ausführungen mit einem integrierten Hochtonkegel.



Abb. 9: Breitbandlautsprecher (120 Hz - 21 kHz)



Abb. 10: Breitbandlautsprecher mit Hochtonkegel

⁶ <https://www.woofersstore.de/car-hifi-news/subwoofer-selber-bauen-gehaeuseprinzipien-vor-und-nachteile.html>

3 Lautsprecherboxen

3.1 Akustischer Kurzschluss

Damit kein "akustischer Kurzschluss" entsteht, müssen Lautsprecher in ein geeignetes Gehäuse montiert werden. Das Gehäuse dient zugleich als Resonanzraum.

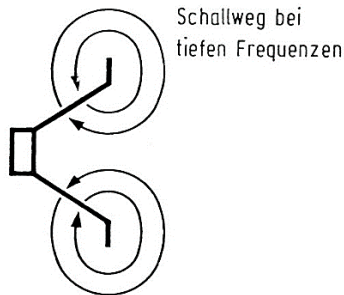


Abb. 11:
Akustischer Kurzschluss

Der Kurzschluss-Effekt tritt nur bei denjenigen Schallwellen in Erscheinung, deren Wellenlänge sich im Bereich der Wegstrecken zwischen Vorder- und Rückseite des Schallgebers befindet. Dies bedeutet, dass besonders die tiefen Töne betroffen sind. Im ungünstigsten Fall gibt der Lautsprecher nur noch Blindenergie ab. Die Membran schwingt zwar spürbar, aber es ist nichts zu hören.

Die einfachste Lösung zur Verhinderung eines akustischen Kurzschlusses besteht darin, den Weg zwischen Vorder- und Rückseite der Lautsprechermembran zu verlängern, indem der Lautsprecher z.B. auf ein Brett mit Schallöffnung montiert wird. Je nach Größe der Schallwand können nun auch tiefere Frequenzen wirksam abgestrahlt werden.

Beispiel: Bei einer Ausbreitungsgeschwindigkeit von 340 m/s in der Luft besitzt eine Schallwelle mit einer Frequenz von 100 Hz gemäss $\lambda = c/f$ eine Wellenlänge von 3,4 Meter. Ein Druckmaximum dieser Welle liegt bei einem Viertel der Wellenlänge ($\lambda/4 = 85$ cm). Folglich müsste der Weg zwischen Lautsprecher und Schallwandrand mindestens doppelt so gross sein, damit die betreffende Schallwelle ungedämpft abgestrahlt werden kann.

In praxi wird die Schallwand durch ein Gehäuse ersetzt. Im Prinzip kann dieses als Schallwand mit unendlicher Ausdehnung betrachtet werden, weil der Druckausgleich zwischen Vorder- und Rückseite des Schallgebers durch das Gehäuse verhindert wird. Für die tiefen Töne werden aus den bereits angeführten Gründen meist Bassreflexboxen verwendet.

3.2 Passivboxen

Passivboxen besitzen keinen integrierten Endverstärker. Das Audiosignal muss also bereits verstärkt in der Box ankommen. Befinden sich Lautsprecher für unterschiedliche Tonfrequenzen in derselben Box, wird eine Frequenzweiche benötigt, die für eine Separation definierter Frequenzbereiche sorgt. Sind z.B. drei Lautsprecher für Hochtון-, Mittelton- und Tieftonbereich vorhanden, so wird eine Passive Dreiwege-Frequenzweiche verwendet.

3.3 Aktivboxen

Aktivboxen besitzen einen integrierten Endverstärker und benötigen daher nur das von einem Mischpult oder einem Vorverstärker kommende Line Signal. Aus diesem Grunde ist ein Netzanschluss (230 VAC) oder ein Akku erforderlich. Ein Vorteil von Aktivboxen für Bühnenmusiker ist, dass kein separater Verstärker transportiert werden muss.

3.4 Frequenzweichen

1) Im einfachsten Fall (Abb. 10) besteht eine Frequenzweiche aus einem Kondensator im Hochtonkreis, welcher die hohen Frequenzen passieren lässt und einer Spule im Tieftonkreis, welche die höheren Frequenzen unterdrückt.



Abb. 12

Passive Zweiwege-Frequenzweiche
(bestehend aus Kondensator und Spule)



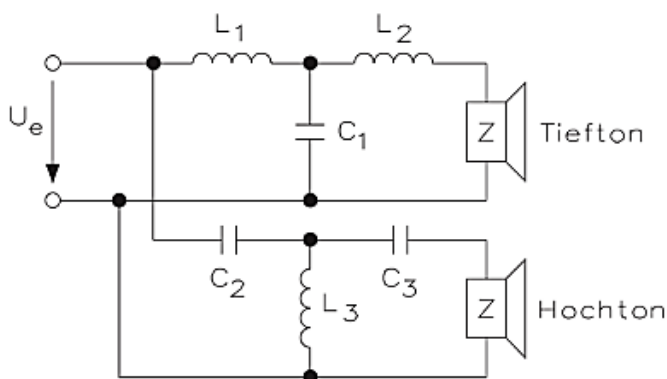
Abb. 13

Passive Dreiwege-Frequenzweiche
(mit separaten Hoch- und Tiefpassfiltern)

Abhängig von der Dämpfung spricht man von:

- Weiche 1. Ordnung mit 6 dB pro Oktave
- Weiche 2. Ordnung mit 12 dB pro Oktave
- Weiche 3. Ordnung mit 18 dB pro Oktave
- Weiche 4. Ordnung mit 24 dB pro Oktave

Bei einer Frequenzweiche 1. Ordnung bspw. bedeutet dies, dass sich bei einer Frequenzverdoppelung (1 Oktave) die Signalamplitude um den Faktor 2 verändert. Mit zunehmender Ordnung erhöht sich die Flankensteilheit der Übertragungskennlinie. In vielen Lautsprecherboxen werden Weichen 2. Ordnung eingesetzt.



Hoch- und Tieftöner müssen gegenphasig geschaltet sein. Ansonsten heben sich die Ausgangssignale beider Wandler bei der Übernahmefrequenz gegenseitig auf und in der Übertragungskennlinie entsteht ein "Loch".

Abb. 14: Zweiwege-Frequenzweiche 2. Ordnung⁷

2) Eine weitere Einteilung von Frequenzweichen erfolgt nach der Filtercharakteristik.

Es ist die Rede von:

- Butterworth-Filter

⁷ Bernstein: Elektroakustik (Springer Vieweg)

- Bessel-Filter
- Tschebyscheff-Filter (auch Chebyshev geschrieben)

3) Frequenzweichen werden zudem in passive und aktive Weichen eingeteilt.

a) Eine passive Weiche besteht aus Spulen, Kondensatoren und ggf. auch Widerständen und enthält keine aktiven Bauelemente wie Transistoren oder Operationsverstärker. Schaltungstechnisch befindet sich eine passive Weiche zwischen dem Endverstärker und den Lautsprechern.

b) Aktive Weichen enthalten immer aktive, d.h. signalverstärkende Bauelemente und separieren die Tonfrequenzen bereits vor der (integrierten) Verstärker-Endstufe. Induktivitäten (Spulen) werden meist durch eine aktive RC-Schaltung (Gyrator) nachgebildet.

4 Quellenverweise

4.1 Fachliteratur

Pfleiderer: HiFi auf den Punkt gebracht (BoD)

Stark: Lautsprecher Handbuch (Pflaum)

4.2 Weblinks

<https://de.wikipedia.org/wiki/Lautsprecherbox>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Subwoofer>

<http://www.lautsprecher-berlin.de/index.html>

https://www.lautsprechershop.de/intro_de.htm

<https://www.monacor.de/produkte/components/lautsprechertechnik/>

<https://www.gitarrebass.de/equipment/grosses-special-lautsprecher-und-boxen-fuer-bass-gitarre/>