



Lautsprecher 1x1

Von den Anfängen bis zur Bassreflexbox

In dieser Folge zur Akustik widmen wir uns verschiedenen Beispielen von Lautsprechern. Angefangen bei sogenannten Freischwingern, über allgemeine elektrodynamische Lautsprecher, Exponential-Lautsprecher bis hin zur Bassreflexbox. Dabei betrachten wir auch die Wirkungsweise von unterschiedlichen Gehäusen für diese Schallwandler.

Allgemeines

Das Thema „Lautsprecher“ hat sich zu einem sehr umfangreichen Arbeitsgebiet entwickelt, über das ein Beitrag wie dieser lediglich einen informativen Eindruck vermitteln kann. Nachfolgend werden daher nur einige besonders interessante Lautsprecherarten und ihr Einsatz in der Praxis vorgestellt und erläutert.

Genauso wie bei den Kopfhörern (ELVjournal 1/2020 [1]) lässt sich auch bei den Lautsprechern kaum ein einzelner „Erfinder“ benennen. Tatsache ist aber, dass die Entwicklung des Lautsprechers im Zusammenhang mit der Erfindung des Telefons steht. Und so findet man die ersten Patentanmeldungen bereits schon vor über 100 Jahren, darunter sogar solche mit elektrodynamischem Wandlerystem.

Freischwinger

Wir beginnen unsere Übersicht zunächst mit einem interessanten Lautsprecher, der noch ein elektromagnetisches Wandlerystem besaß und in den 1930er-Jahren auf den Markt kam (Bild 1). Das war ein sogenannter Freischwinger, der aus einem Permanentmagneten bestand, vor dessen Polschuhen sich ein frei beweglicher Zungenanker mit einer Spule befand. Dieser Anker, der durch Federkraft in einer mittleren

Ruhelage gehalten wurde, war seinerseits über einen starren Stift mit einer konusförmigen Lautsprechermembran verbunden. Schickt man einen niederfrequenten Wechselstrom durch die Spule, so versetzt der durch ihn erzeugte Wechselfluss den Anker und mit ihm auch die Membran in Schall abstrahlende Schwingungen. Die Übertragungsqualität sowie die Lautstärke der Freischwinger waren bescheiden, in den späteren Jahren hatten sie keine Bedeutung mehr. Danach dominierte weltweit, vom Wandlerprinzip her, der elektrodynamische Lautsprecher. Für spezielle Fälle gab es auch noch sogenannte Hochtöner, aber generell war es der elektrodynamische Lautsprecher, über den mit all seinen Variationen nachfolgend berichtet wird.

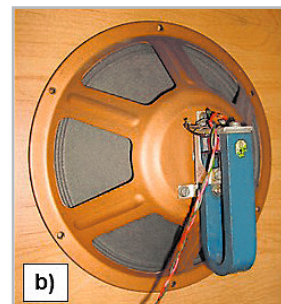
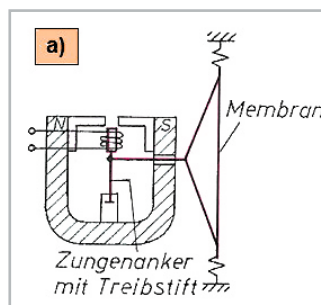


Bild 1: Freischwinger-Lautsprecher

a) Prinzipskizze

b) Praktische Ausführung eines Freischwingers

c) Seitenansicht: Magnet und Zungenanker mit Treibstift



Zur Information:

In leicht verständlicher Form vermitteln wir eine **Einführung in die Arbeitsgebiete der technischen Akustik – einschließlich Schwingungstechnik – und der Elektroakustik.**

Themengebiete:

- Akustische Grundbegriffe – Schallfeldgrößen, Pegel, Resonatoren (ELVjournal 2/2019)
- Schallausbreitung – Reflexion, Beugung, Brechung und Absorption (ELVjournal 3/2019)
- Elektromechanische Analogien – Analogie erster und zweiter Art, Ersatzschaltbilder (ELVjournal 4/2019)
- Elektroakustische Wandler – Wandlerprinzipien und ihre Gesetze (ELVjournal 5/2019)
- Mikrofone – vom Studiomikrofon bis zum Subminiaturmikrofon (ELVjournal 6/2019)
- Kopfhörer – elektrodynamische und elektrostatische Kopfhörer
- **Lautsprecher – von den Anfängen bis zur Bassreflexbox**
- Beschallungstechnik – gerichtete Schallabstrahlung, Linienstrahler
- Raum- und Bauakustik – Sabine'sches Gesetz, Nachhallzeit und äquivalente Absorptionsfläche
- Gehör – Lautstärke, Lautheit, Hörverlust, Hörgeräte, Audiometrie
- Persönlicher Schallschutz – von passiven Gehörschutzmitteln bis zum aktiven Schallschutz mittels „Antischall“
- Akustische Messräume – reflexionsarme Räume, Messboxen und Hallräume
- Körperschall und Vibrationen – Accelerometer und Ladungsverstärker
- Wasserschall – Schallausbreitung im Wasser, Hydrofone und Wasserschall-Messtanks
- Ultraschall und Infraschall – natürliche und industrielle Quellen

Theoretische Zusammenhänge werden nur so weit vertieft, wie es für das Verständnis des Stoffs notwendig ist. Auf mathematische Ausdrücke (Gleichungen, Formeln) wird im Text so weit wie möglich verzichtet. Anschauliche Illustrationen unterstützen diese Beiträge. Autor dieser Serie ist Prof. Dr.-Ing. Ivar Veit.

Elektrodynamische Lautsprecher

Zunächst etwas Zeitgeschichtliches vorweg: Bei den elektrodynamischen Lautsprechern spielen Magnete eine zentrale Rolle. Nun gab es Zeiten, wo die kostengünstige Beschaffung von leistungsstarken Permanentmagneten nicht so einfach war wie heute. Damals besann man sich auf die Funktion von fremderregten Gleichstrommotoren. Und so wurden dann auch in alten Röhrenradios bis weit in die 1950er-Jahre hinein „fremderregte“ dynamische Lautsprecher gebaut und verwendet. Zur Erzeugung des für den Betrieb des Lautsprechers erforderlichen permanenten Magnetfeldes wurde der gesamte Gleichstrom des Gerätes herangezogen. Man ersetzte zu diesem Zweck die Siebdrossel des Netzteils durch eine Erregerwicklung auf dem Kern des Lautsprechers, und dieser bekam auf diese Weise sein magnetisches Gleichfeld (**Bild 2**).

Den prinzipiellen Aufbau von heute üblichen elektrodynamischen Lautsprechern – mit Dauermagneten – zeigt das **Bild 3**. Die Schwingspule (oder auch Tauchspule genannt) taucht in den kreisförmigen Luftspalt eines rotationssymmetrischen Topfmagneten ein. Die an der Spule befestigte Membran wird durch kreisrunde Zentrierungen oder Einspannungen gehalten, die ihrerseits zur Erzielung einer optimalen Nachgiebigkeit meist gewellt sind. Hochwertige Lautsprecher haben meist keine reinen Konusmembranen, sondern Nawi-Membranen (nawi = nicht abwickelbar), was der Ausbildung von Eigenmoden (siehe auch **Bild 13**) entgegenwirkt. Das sind Membranen, die, wenn man sie aufschneidet, sich nicht in einer Ebene „abwickeln“ lassen. Daher auch die Bezeich-

Bild 2: Fremderregter elektrodynamischer Lautsprecher, ohne Permanentmagneten, verwendet in alten Röhrenradios. Im oberen Bild erkennt man die Erregerwicklung, die die Funktion der Siebdrossel im Netzteil übernahm und dabei vom gesamten Gleichstrom des Gerätes durchflossen wurde. Dieser Strom reichte aus, um dem Lautsprecher ein für die Bewegung der Membran ausreichendes Magnetfeld bereitzustellen.

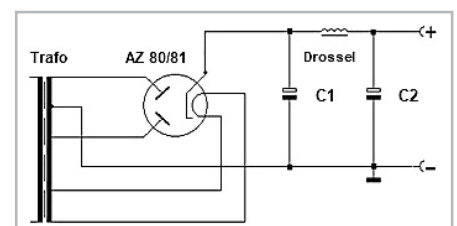
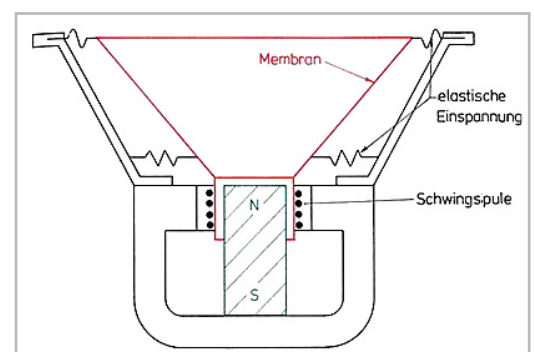


Bild 3: Elektrodynamischer Lautsprecher. Seine Hauptbestandteile sind ein Permanentmagnet, die Membran und die daran befestigte Schwingspule. Die elastischen Einspannungen oben und unten haben die Aufgabe, die Membran zu zentrieren und beweglich an das Chassis anzuschließen.



nung „nawi“, siehe Bild 4. Die in der Prinzipskizze des Bildes 3 dargestellte Membran zeigt eine typische Konusmembran.

Für die Frequenzübertragung von Lautsprechern sind folgende drei Kenngrößen wichtig:

- f_s = Freifeld-Resonanzfrequenz des nicht eingebauten (Lautsprecher)-Chassis
- f_c = Resonanzfrequenz des (in einem Gehäuse eingebauten) Lautsprechers
- f_3 = Frequenz, bei der Frequenzgang bei tiefen Frequenzen um -3 dB abgesunken ist

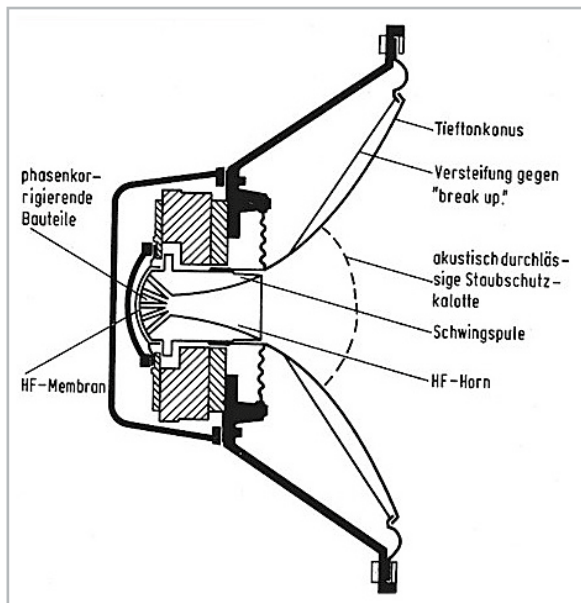


Bild 4: Koaxial-Chassis mit nicht abwickelbarer Nawi-Membran und Hochtonstrahler

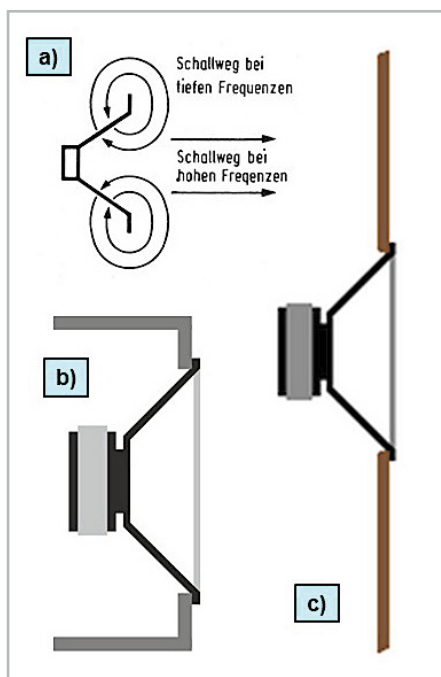


Bild 5: Akustischer Kurzschluss bei Lautsprechern, die nicht in geschlossenen Gehäusen eingebaut sind:

- a) Veranschaulichung des akustischen Kurzschlusses
- b) Lautsprecher in offenem Gehäuse
- c) Lautsprecher in offener Schallwand

Abstrahlung tiefer Frequenzen durch Lautsprecher

Die Abstrahlung von tiefen Frequenzen hängt neben anderen Faktoren sehr stark von der frequenzabhängigen Strahlungsimpedanz Z_{str} von Schallquellen ab, deren Realteil, nämlich der Strahlungswiderstand r_{str} , mit sinkender Frequenz sehr stark abnimmt. Wir kommen darauf noch bei der Behandlung des $\lambda/4$ -Transmission-Line-Gehäuses zurück.

Die allermeisten Lautsprecher sind aus akustischer Sicht Kolbenstrahler, und da gilt es, bei ihrem Einsatz bzw. ihrem Einbau unbedingt darauf zu achten, dass ein „akustischer Kurzschluss“ zwischen der Vorder- und der Rückseite ihrer Membran vermieden wird (siehe Bild 5). Dieser Effekt tritt umso heftiger in Erscheinung, je tiefer die Frequenz bzw. je größer die Wellenlänge des Schalls ist, der abgestrahlt werden soll. Um diesen Effekt zu vermeiden und um tiefe Frequenzen gut abstrahlen zu können, sollten Lautsprecher-Chassis nie alleine oder eingebaut nur in einer offenen Schallwand betrieben werden. Im Gegenteil: Lautsprecher sollten entweder in einem geschlossenen Gehäuse oder in einem Gehäuse mit besonderer Schallführung eingebaut werden. Im Bild 6 werden einige in der Praxis übliche und bewährte Einbauarten gezeigt. Das Bild 6a zeigt zunächst den einfachsten und gängigsten Lautsprechereinbau, nämlich in einer geschlossenen Box.

Zu dem heute wohl mit am häufigsten anzutreffenden Gehäuseeinbau eines Lautsprechers gehört die Bassreflexbox, siehe Bild 6b und 6e. Sie bietet eine sehr wirksame und zudem kostengünstige Methode zur Erhöhung der vom Lautsprecher abgestrahlten Bässe. Vom Aufbau her erinnert die Box mit ihrem nach innen gerichteten Rohr an einen Helmholtz-Resonator. Einziger Unterschied: Bei den allgemein bekannten Ausführungen ragt der Resonatorhals nach außen heraus. Die Funktion ist bei beiden Ausführungen die gleiche. Das Gehäuse hat hier die Wirkung einer Feder mit der Nachgiebigkeit n (Einheit: m/N), während das im Rohr enthaltene Luftvolumen einer Masse m (Einheit: kg) entspricht. Beide Größen zusammen bilden einen Resonator mit einer Resonanzfrequenz f_{res} , die vom Ausdruck $1/2\pi \cdot \sqrt{m \cdot n}$ bestimmt wird.

Der von der Membranrückseite des Chassis gegenphasig nach innen, d. h. in das Gehäuseinnere hinein, abgestrahlte Schall wird vom Resonator noch einmal um 180° gedreht und dann nach außen phasenrichtig zum Hauptschall wieder abgestrahlt. Dort addiert er sich mit seiner tiefen Frequenz f_{res} pegelmäßig zum Hauptschall und lässt den Bass „ertönen“. Aus der Öffnung des Bassrohres heraus kann man, wenn auch nur gering und dann auch kaum störend, Strömungsgeräusche wahrnehmen.

Keine Strömungsgeräusche dagegen gibt es bei der Bassabstrahlung mithilfe einer Passivmembran, siehe Bild 6c. Das ist heute eine sehr beliebte Methode, den Frequenzbereich von Lautsprechern zu den Bässen hin zu erweitern, wobei das Gehäuse nicht größer werden muss. Auch hier ist die Funktion relativ einfach: Neben dem aktiven, elektrodyna-

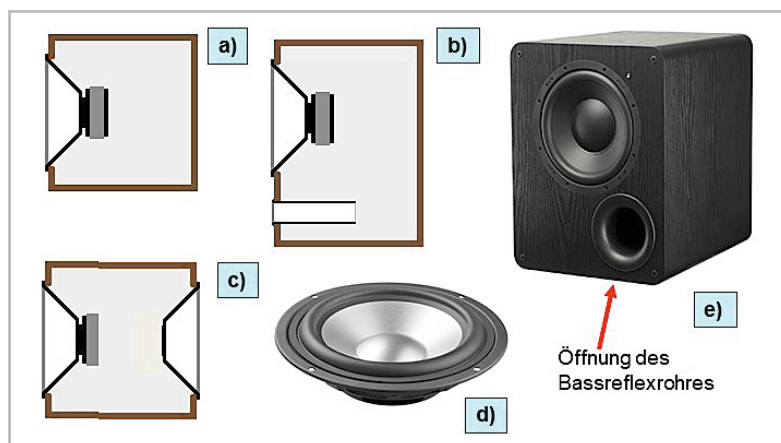


Bild 6: Lautsprecher, eingebaut im Gehäuse (Prinzipdarstellungen)

- a) Lautsprecher im allseits geschlossenen Gehäuse
- b) Lautsprecher mit Bassreflexrohr
- c) Lautsprecher mit Passivmembran
- d) Steife Passivmembran
- e) Praktische Ausführung einer Bassreflexbox



misch angetriebenen Chassis befindet sich im gleichen Gehäuse zusätzlich noch eine passive, meist etwas steifere, richtig abgestimmte Membran ohne Antrieb, siehe Bild 6d. Diese wird allein von der Luftmasse im Gehäuse zum Schwingen angeregt. Bei richtiger Abstimmung erreichen Lautsprecher mit Passivmembran mindestens den gleichen Bass wie ein Bassreflexrohr. Das Bild 6e zeigt eine kleine Bassreflexbox, an der man die Öffnung des Bassreflexrohres gut erkennt.

Spezielle Lautsprechergehäuse

Es gibt auch noch weitere, sehr effektive Lautsprechergehäuse, die zu einer besonders guten Abstrahlung von tiefen Frequenzen geeignet sind, z. B. das $\lambda/4$ -Transmission-Line-Gehäuse, das $\lambda/2$ -Transmission-Line-Gehäuse oder auch die Exponentialbox. Von den genannten Varianten soll hier nur noch auf das $\lambda/4$ -Transmission-Line-Verfahren und auf die Bassreflexbox eingegangen werden, siehe zunächst Bild 7. Zum Funktionsprinzip ist Folgendes zu sagen: Ein einseitig geschlossenes Rohr stellt akustisch einen $\lambda/4$ -Resonator dar. Regt man die darin enthaltene Luftsäule akustisch an, so entsteht am geschlossenen Rohrende ein Schalldruckmaximum. Ersetzt man jetzt das verschlossene Rohrende durch einen Lautsprecher, so strahlt dessen Membran infolge des dort erhöhten Strahlungswiderstandes r_{str} maximale Leistung in die Luftsäule ab. Aber auch in den Abhörraum wird verstärkt Schall abgestrahlt. Da es sich hier um einen $\lambda/4$ -Resonator handelt, erfolgt die verstärkte Schallabstrahlung bei einer Frequenz $f = c/4 \cdot l$. Darin ist c die Schallgeschwindigkeit (in Luft: 343 m/s). Bei einer Rohrlänge l von beispielsweise 2 m ergibt sich daraus eine Frequenz von 42,9 Hz, zuzüglich aller ungeradzahigen Vielfachen: 3, 5, 7. Übermäßig lange Rohrleitungen umgeht man durch eine „Faltung“ derselben, siehe Bild 7b und Bild 7d.

Je tiefer der abzustrahlende Ton sein soll, um so länger muss die Line sein. Sie muss mindestens ein Viertel der längsten abzustrahlenden Schallwellenlänge sein. Um, wie eben gezeigt, etwa 43 Hz zu erreichen, muss das Rohr eine Länge von mindestens 2 m haben.

Jetzt noch ein Wort zum Thema Schwingspule. Auch da gibt es interessante Varianten. Das sind z. B. Lautsprecher mit Doppelschwingspulen. Hierbei handelt es sich um zwei identische Schwingspulenwicklungen, die „ineinander“ gewickelt, galvanisch aber völlig voneinander getrennt sind. Diese Spulen können entweder parallel oder in Reihe geschaltet werden, es kann aber auch nur eine Spule aktiv betrieben werden und die andere bleibt offen, oder die eine Spule wird ebenfalls aktiv betrieben, die andere aber wird kurzgeschlossen.

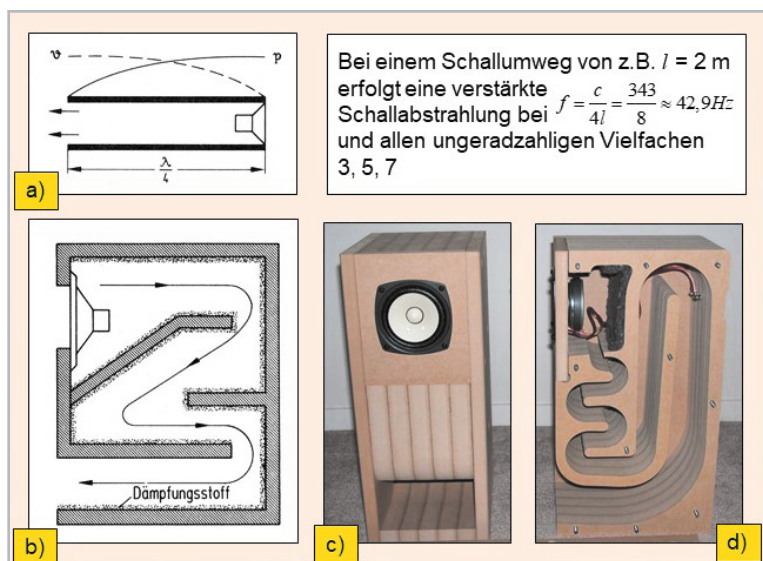
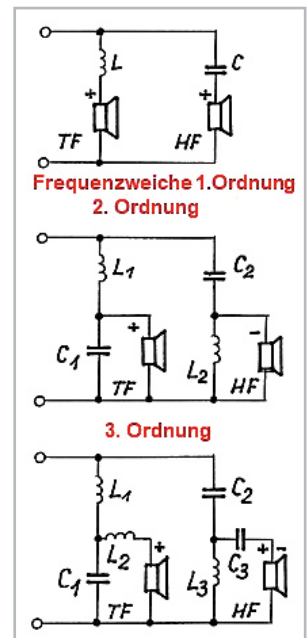


Bild 7: Lambda-Viertel- oder $\lambda/4$ -Transmission-Line-Lautsprecher (engl.: Quarter Wavelength Loudspeaker)

- a) Verteilung von Schalldruck p und Schallschnelle v entlang eines einseitig offenen, akustisch angeregten Rohres
 b) Schematische Darstellung eines Transmission-Line-Lautspeakers
 c) und d) Praktische Ausführung eines Transmission-Line-Lautspeakers

Bild 8: Frequenzweichen verschiedener Ordnung für je zwei Lautsprecher, einem Tieftöner TF und einem Hochtöner HT



Im Falle einer Reihenschaltung verdoppelt sich die elektrische Impedanz, z. B. von 4Ω auf 8Ω . Ohne das hier im Einzelnen zu belegen – dazu müsste man ausführlich auf die sogenannten Thiele-Small-Parameter eingehen – eignen sich $8\text{-}\Omega$ -Schwingspulen mehr für Tieftonlautsprecher. Anders dagegen die Version, bei der die eine Spule aktiv arbeitet und die andere kurzgeschlossen ist. In diesem Falle wird bei der Bewegung der Membran in der kurzgeschlossenen Spule eine Spannung induziert, die dämpfend auf die Eigenresonanz wirkt.

Breitbandige Schallabstrahlung, Mehrwegelautsprecher

Es gibt kaum Lautsprecher, die den gesamten Hörfrequenzbereich von etwa 16 Hz bis 16 (18) kHz in gleichbleibender Güte mit nur einem Chassis abdecken. Daher wird in der Praxis der gesamte Frequenzbereich häufig aufgeteilt und von mindestens zwei oder mehr Lautsprechern (z. B. Tieftöner, Mitteltöner, Hochtöner) abgedeckt. Sehr wichtig sind dabei, neben der Qualität der einzelnen Lautsprecher-Chassis, insbesondere die Übergänge zwischen den einzelnen Bereichen.

Elektrisch geschieht das mithilfe von Frequenzweichen. Das Bild 8 zeigt als Beispiel dafür Weichen erster, zweiter und dritter Ordnung, hier nur für zwei Lautsprecher, nämlich einen Tieftöner TF und einen Hochtöner HT. Es handelt sich dabei um Tiefpass- und Hochpassfilter mit Flankensteilheiten von 6 dB/Okt., 12 dB/Okt. und 18 dB/Oktave.

Bemerkenswert ist unter anderem auch, dass die für die einzelnen Frequenzbereiche vorgesehenen Lautsprecher sich nicht nur durch die Größe ihrer Chassis, sondern auch durch die Induktivität ihrer Schwingspulen unterscheiden. Größenordnungsmäßig liegen die Induktivitäten von Tieftönern um 1 mH, von Mitteltönern um $330 \mu\text{H}$ und von Hochtönern bei etwa $< 100 \mu\text{H}$.

Allgemein bekannt sind Lautsprecherboxen mit zwei, drei oder noch mehr Einzellautsprechern. Es gibt

aber auch Lautsprecher, die innerhalb eines Chassis mehrere Systeme enthalten. Ein Beispiel dafür zeigt das **Bild 9**. Es handelt sich dabei um einen 3-Wege-Lautsprecher mit nierenförmiger Richtcharakteristik und einem Frequenzübertragungsbereich von 25 Hz bis 20 kHz (± 3 dB). Das Tiefton- und Mittelton-Chassis besitzt bei diesem Exemplar eine Konusmembran.

Es ist bekannt, dass elektrodynamische Lautsprecher sehr niedrige Wirkungsgrade besitzen, insbesondere dann, wenn sie einen möglichst breiten Fre-



Bild 9: 3-Wege-Lautsprecher mit nierenförmiger Richtcharakteristik im Bassbereich (Typ RL 901 K). Tiefton- und Mitteltonlautsprecher besitzen eine Konusmembran. Übertragungsbereich: 25 Hz–20 kHz (± 3 dB). (Quelle: Musikelectronic Geithelm GmbH)

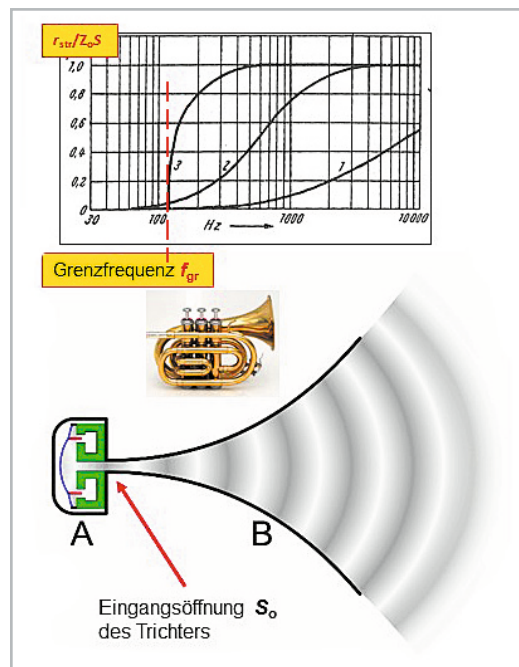


Bild 10: Oberes Diagramm: Auf $Z_0 S$ normierter Strahlungswiderstand r_{str} eines 1 m langen 1) parabolischen, 2) konischen und 3) exponentiellen Trichters mit einer 1 cm^2 großen Eingangsöffnung S_0 und einer 100 cm^2 großen Öffnung S am Trichterausgang. Z_0 ist hier die Schallkennimpedanz $\rho c = 408 \text{ N s/m}^3$. Die Eingangsöffnung wird hier von einem elektrodynamischen Treiber (A) angeregt. Exponentialtrichter (B) haben eine sehr effektive Schallabstrahlung gleich oberhalb ihrer Grenzfrequenz f_{gr} , während diese Eigenschaft unterhalb von f_{gr} abrupt aufhört. Dieses bemerkenswerte Verhalten von exponentiellen Trichtern findet eine seiner bedeutsamsten Anwendungen bei Blechblasinstrumenten.

quenzbereich bedienen sollen. Das hat nicht zuletzt auch mit der Art ihrer Schallabstrahlung zu tun. Bei elektrodynamischen Lautsprechern beträgt er nur einige Prozent. Einen wesentlich höheren Wirkungsgrad (bis zu 50 %!) erreicht man mit Hornlautsprechern. Diese bestehen aus einem Treiber-Chassis, an das ein Horn (Exponentialtrichter) angeschlossen ist. Mehr darüber im nachfolgenden Abschnitt.

Exponentiallautsprecher

Die von einer Schallquelle abgestrahlte Schallleistung W_{ak} ist neben dem Quadrat der Schwingschnelle v^2 an der Strahleroberfläche sehr stark abhängig vom Strahlungswiderstand r_{str} , siehe auch im Text weiter oben. Der wiederum wird unter anderem bestimmt vom Raumwinkel, in den der Schall abgestrahlt wird. Von dieser Tatsache machen wir unbewusst Gebrauch, wenn wir jemandem über eine größere Entfernung hinweg etwas zurufen wollen. Wir halten uns die Hände trichterförmig vor den Mund. Das heißt, Trichter, die man vor eine Schallquelle anbringt, sind hilfreich, um Schall sehr effektiv abzustrahlen, wie zum Beispiel bei früheren Grammophontrichtern.

Nun gibt es eine Reihe von verschiedenen Trichterformen, deren Querschnitt z. B. konisch, parabolisch, hyperbolisch oder exponentiell mit der Entfernung von der Quelle (Treiber) anwachsen kann. Die effektivste Abstrahlung ermöglicht ein sich nach einer Exponentialfunktion öffnender Trichter (Beispiel: Blasinstrumente). Bei hohen Frequenzen bildet sich darin ein „Schallstrahl“, der sich entlang der Trichterachse ausbreitet. Tiefe Frequenzen werden von Exponentialtrichtern erst ab einer bestimmten Grenzfrequenz f_{gr} abgestrahlt. Oberhalb dieser Frequenz steigt die Abstrahlung dann aber sehr schnell auf ihren Maximalwert an, siehe **Bild 10**. Unterhalb von f_{gr} gibt es keine Schallabstrahlung. Der Trichter wirkt wie ein Hochpass. Die Grenzfrequenz ist umgekehrt proportional der Trichtertlänge, das heißt, um sehr tiefe Frequenzen abstrahlen zu können, muss der Trichter sehr lang sein. Um dennoch praktikable Trichtertlängen zu bekommen, faltet man den Trichter, siehe **Bild 11**.

Exponentialbox

Für eine besonders effektive Abstrahlung sehr tiefer Frequenzen gibt es noch eine weitere Möglichkeit, und das ist die Exponentialbox, siehe **Bild 12**. Im Gegensatz zu Exponentialhörnern wird bei Exponentialboxen

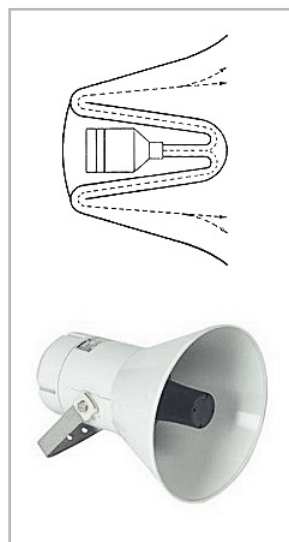


Bild 11: Exponentieller Trichterlautsprecher. Die Grenzfrequenz f_{gr} , oberhalb derer Exponentialtrichter erst Schall abstrahlen, ist umgekehrt proportional der Trichtertlänge. Um auch noch sehr tiefe Frequenzen abzustrahlen, müssten die Trichter sehr lang sein. Übermäßig lange Trichter vermeidet man, indem man sie faltet.

die Lautsprechermembran akustisch von beiden Seiten belastet. Dazu befindet sich das Lautsprecher-Chassis in einer geschlossenen Box mit einer sehr kleinen, rückseitigen Öffnung (Röhrchen), an die ein Exponentialtrichter angeschlossen ist. Die Box wirkt dabei wie ein Tiefpass mit einer Grenzfrequenz, die durch die Masse m_2 und die Nachgiebigkeit n_2 bestimmt wird. Dieser Tiefpass lässt nur tiefe Frequenzen in das Horn eintreten.

Der Strahlungswiderstand r_{str2} der Trichteröffnung ist sehr viel größer als der Strahlungswiderstand r_{str1} der Lautsprechermembran. Daher wird bei sehr tiefen Frequenzen (unterhalb der Tiefpass-Grenzfrequenz) Schall aus der Trichteröffnung abgestrahlt. Oberhalb dieser Grenzfrequenz geht die Schallabstrahlung mehr und mehr von der Vorderseite der Lautsprechermembran aus. Wichtig ist dabei lediglich, dass die Trichteröffnung und die Membran so angeordnet sind, dass bei der Übernahmefrequenz die von „beiden Quellen“ ausgehenden Schallwellen phasengleich sind.



Zum Abschluss noch zwei Bilder zum Thema Membranen. Das Bild 13a vermittelt ein Bild von den weiter oben schon erwähnten Moden höherer Ordnung, die sich bei qualitativ schlechten Membranen bilden können und so zu Verzerrungen im Klangbild führen. Die zweite Darstellung (Bild 13b) zeigt, wie ein Lautsprecher nach unsachgemäßem Umgang aussehen kann.

Ausblick

Im Nachgang zum Thema Lautsprecher befasst sich der nachfolgende Beitrag folgerichtig mit dem Thema Beschallungstechnik. Darin wird über die richtige Auswahl von Lautsprechern bzw. von ganzen Gruppenanordnungen akustischer Strahler berichtet. Es gibt nicht selten Fälle, in denen Schall gerichtet abgestrahlt werden muss, sei es auf größeren Plätzen oder in weiträumigen Auditorien sowie auch in sehr halligen Räumen. Da kommt es sehr auf die richtige Auswahl der Schallstrahler an, genauso auch auf die richtige Auswahl der Aufstellungsorte dafür.

Eine tiefgehende Behandlung des Themas Richtstrahler und gerichtete Schallabstrahlung ist mit viel Theorie, insbesondere Mathematik, verbunden. Im nächsten Beitrag wird versucht, diese Materie möglichst praxisnah, ohne Mathematik und dennoch verständlich, zu vermitteln. Dazu gehören neben raumakustischem Verständnis auch Kenntnisse über das menschliche Richtungsgehör. Über beides wird berichtet. **ELV**

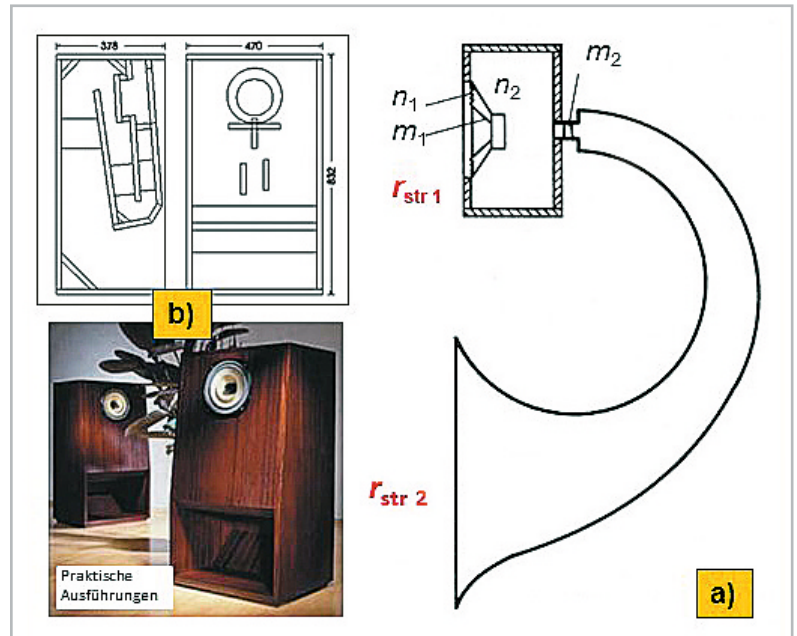


Bild 12: Exponentialbox (back-loaded horn) a) Funktionsprinzip, b) Ausführungsbeispiele

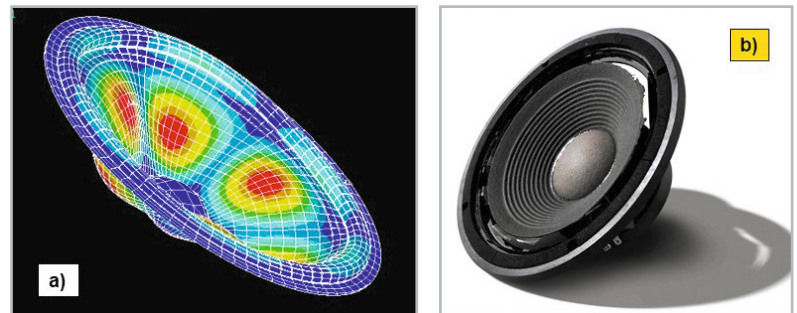


Bild 13: Noch zwei Bilder zum Thema Membranen:

- a) Schwingende Membran eines elektrodynamischen Lautsprechers mit Moden höherer Ordnung (Computer Animation)
 b) Defekter Lautsprecher. Während des Betriebs ist insbesondere die obere Einspannung bei großen Aussteuerungen besonderen Belastungen unterworfen, was manchmal deutliche Spuren am Material hinterlässt.



Weitere Infos:

- [1] Akustik: elektrodynamische und elektro-statische Kopfhörer, ELVjournal 1/2020

ELV Newsletter abonnieren und € 5,- Bonus* sichern!

- ▶ Neueste Technikrends
- ▶ Sonderangebote
- ▶ Tolle Aktionen und Vorteile
- ▶ Kostenlose Fachbeiträge

und vieles mehr ...

*Sie erhalten einmalig € 5,- Bonus auf Ihre Bestellung, ab einem Warenwert von € 25,-. Der Gutschein gilt nicht in Verbindung mit anderen Aktionen und kann nicht ausgezahlt werden. Fachhändler und Institutionen, die bereits Sonderkonditionen erhalten, sind von diesem Bonus ausgeschlossen. Eine Auszahlung/Verrechnung mit offenen Rechnungen ist nicht möglich.

de.elv.com/newsletter
at.elv.com/newsletter · ch.elv.com/newsletter

