

Auszug aus dem Fachbuch «Radios von gestern»
(Ernst Erb)

Wir haben die Seitennummerierung so eingesetzt, dass sie dem Buch entspricht. Damit können sich Leerstellen (zu Beginn oder am Ende) ergeben.

Sie sind eingeladen, Fehler in diesem Buch zu melden oder den fachartikeln Zusätze in Ihrem Namen anzufügen. Dazu können wir Ihnen die Schreibrechte einstellen. Fehlerkorrekturen möchten wir in einem günstigen Arbeitsbuch mit einfließen lassen, sobald die jetzige Form (3.Auflage) ausverkauft ist. Zusatzartikel verbleiben aber hier, da wir die Seiteneinteilung grundsätzlich auch im neuen Buch einhalten wollen.

Benutzen Sie das Feldstecher-Symbol, um Suchbegriffe sofort zu finden.

Kritiken über das Buch finden Sie über www.amazon.de. Bestellen können Sie es direkt bei der Verlagsauslieferung, die täglich per Post gegen Rechnung Bücher ausliefert: HEROLD-Oberhaching@t-online.de oder HEROLD@herold-va.de. Da ist auch der Radiokatalog Band 1 zu haben.

Copyright Ernst Erb

www.radiomuseum.org

Trockengleichrichter

Ab Mitte der 30er Jahre in Einzelfällen, nach dem Zweiten Weltkrieg nahezu ausschliesslich, finden statt der Gleichrichterröhre Trockengleichrichter Anwendung. Den **Kupferoxydgleichrichter** (Cu_2O) kennt man ab 1925, den **Selengleichrichter** ab 1930 und den **Siliziumgleichrichter** ab 1952 [607502]. Markennamen sind **Kuprox-Gleichrichter** von **S&H**, **Elna-Gleichrichter** etc.

Kupferoxydgleichrichter (Sirutor) bestehen aus Kupferplatten mit meist beidseitiger Kupferoxydschicht. Liegen die beiden Oxydschichten am positiven und die Mutterkupferplatte am negativen Pol einer Spannungsquelle, ist der Widerstand dieser Kombination erheblich geringer als in umgekehrter Richtung. Die maximale Sperrspannung beträgt 3,5 V. Damit die Temperatur nicht über 60 Grad steigt, trennen Luftzwischenräume die Elemente. Kombinationen für 4-225 V und Belastungen von 0,1-0,35 A kommen häufig vor. Man fabriziert fertige Einheiten in **Graetz-Schaltung**. Beim **Selengleichrichter** ist die aktive Selenschicht auf eine dünne vernickelte Eisenplatte aufgebracht. Eine aus einer besonderen Legierung aufgespritzte weitere Schicht dient als Stromzuführung. Liegt der Minuspol der Spannungsquelle an der Eisenplatte, bildet sich ein erheblich grösserer Widerstand als umgekehrt. Pro Element darf eine maximale Spannung von 18 V effektive Wechselspannung anliegen, wobei 14 V Gleichspannung resultieren. Meist sind mehrere Elemente in Serie geschaltet. Die Belastung richtet sich nach der Grösse der Platten: 0,05 A bei 18, 0,125 A bei 25, 0,3 A bei 35, 0,6 A bei 45, 2,4 A bei 84 und 4 A bei 112 mm Durchmesser. Bei diesen Höchstwerten steigt die Temperatur um 40 Grad. Der Temperaturkoeffizient ist negativ und schafft einen automatischen Ausgleich für den bei stärkerer Belastung am Trafo erfolgenden Abfall der Klemmenspannung. Selen-Gleichrichter verwendet man lange Zeit für das Laden von Akkus.

Beim **Elna-Gleichrichter** besteht das Element aus einem zwischen zwei Metallplatten liegenden Halbleiter besonderer Zusammensetzung. Die Wechselspannung pro Element kann ungefähr 4 und soll mindestens 2 V betragen, da die Kennlinie erst von dieser Grenzspannung an sehr steil verläuft. Diese Gleichrichter eignen sich für kleine Gleichspannungen und grosse Ströme. Kombinationen von 2-32 V und 1-3 A oder als Graetz-Schaltung für 4-14 V bei 1,5-12 A sind üblich.

Lautsprecher im Wandel

Bei der drahtlosen Telegrafie benutzt man in der zweiten Generation der Geräte Kopfhörer statt Schreiber. Auch die ersten Rundfunkempfänger sind für Kopfhörerempfang vorgesehen. Bald gibt es zu Trichter-Lautsprechern erweiterte Kopfhörer. Darauf folgen verschiedene Systeme hochohmiger Lautsprecher. Den Abschluss bilden die dynamischen Lautsprecher. Allerdings gibt es schon früh Seitenentwicklungen, die sich bis heute erhalten haben, etwa der elektrostatische Lautsprecher oder das Hornprinzip bei **Klipsch**. Die neuesten Entwicklungen wie Bändchen-Lautsprecher oder Plasma- und thermische Lautsprecher interessieren uns hier nicht. Grundsätzlich dienen Kopfhörer und Lautsprecher dazu, Wechselströme im Tonfrequenzbereich in hörbaren Schall (Luftschwingungen) umzuwandeln.

Kopfhörer

Marconi benutzt 1901 einen abgeänderten Telefon-Ohrhörer, um die ersten Signale über den Atlantik zu empfangen. Aus

Telefon-Muscheln entwickelt sich in der Folge der Kopfhörer, zwei mit einem Bügel verbundene Ohrmuscheln, auch **Doppel-Kopftelefon** genannt. Im Vergleich zu den Lautsprechern weisen Kopfhörer eine feste Kopplung mit dem Ohr sowie eine wesentlich höhere Empfindlichkeit auf. Kleinste Stromstärken genügen, um Kopfhörerempfang zu ermöglichen.

Kopfhörer gibt es seit Jahrzehnten nach dem elektromagnetischen, dem elektrostatischen und dem dynamischen Prinzip [113]. Uns interessiert hier das erste - eigentlich schlechteste - Prinzip, das für den Rundfunkempfang fast ausschliesslich in Frage kommt.

Im Gegensatz zu den modernen Kopfhörern sind diese hochohmig, d.h. sie haben einen Gleichstromwiderstand von 1000-4000, ganz selten bis 8000 Ohm. Kopfhörer gehören nie direkt an die Endstufe eines Netzempfängers geschaltet; die Isolation der Spulen ist nicht für höhere Spannungen gedacht. Zudem besteht Lebensgefahr.

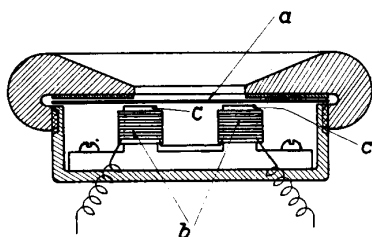


Bild «Z1» T6 [113-140]
Elektromagnetischer Kopfhörer

Niederfrequenter Strom durchfließt zwei Magnetspulen b und beeinflusst den Magnetismus der Magnetpole c im Rhythmus der NF. Die in sehr geringem Abstand vor den Polschuhen angeordnete Membrane a führt dadurch konforme Schallschwingungen aus. Die Lage der Membrane ist durch Drehen der Kopfhörermuschel einstellbar.

Lineare und vor allem nichtlineare Verzerrungen beseitigt ein besonderes Ankersystem (Brownsches Zungentelefon) wenigstens teilweise. Die gespannte Membrane weist eine Eigenresonanzlage auf.

Trichter-Lautsprecher

Die ersten Lautsprecher sind erweiterte Kopfhörer, d.h. sie tragen Resonanzkörper zur stärkeren Abstrahlung. Die grosse Schallausstrahlung erkauft man sich mit einer wesentlich schlechteren Hörqualität. Diese ersten Trichter-Lautsprecher bestehen aus einer konischen Fortsetzung, die nach oben ragt. Später bekommt die Fortsetzung oben eine Wölbung nach vorne und gleichzeitig eine exponentielle Form. Der typische **Horn-Lautsprecher** mit voller exponentieller Form hat ein schwanenhals- bis halbkreisförmiges Äusseres. Weitere Entwicklungsformen, nämlich der Trichter mit schneckenförmiger Tonführung sowie der **Reflextrichter** sind oft aus betonähnlichem Material gefertigt. Ausführungen wie die Marmor-Imitation von **Blaupunkt** gehören diesem Typ an.

Die Luftsäule stellt eine grosse kolbenförmig schwingende Schicht dar, deren Ausdehnung für die Menge der angestossenen Luft massgebend ist. Sie wirkt daher wie eine Membrane von der Grösse der Trichteröffnung. Die **Exponentialform** vermeidet stehende Wellen im Inneren des Trichters. Mittels einer gewichtigen Ausführung verschiebt sich die **Eigenschwingungsneigung** zu tiefsten Tönen hin. Verschiedene Modelle von Trichter-Lautsprechern besitzen eine Einstellschraube, um die Membrane in den gewünschten Abstand zu bringen. Eine

weitere, doch selten angewandte Entwicklung bildet das Anbringen einer Pappscheibe in Konusform an der Membrane. Beispiel ist ein **Telefunken-Lautsprecher** Ende der 20er Jahre.

Magnetische Systeme

Zu einer besseren Tonwiedergabe gelangt man, indem nicht die Membrane den magnetisch bewegten Teil bildet. Drei Systeme lösen einander ab, abgesehen von Seitenentwicklungen (z.B. das induktordynamische System, verstärkende Systeme usw.): Das Zweipolssystem, das entlastete Magnetsystem (Vierpolssystem) und der Freischwinger.

Grundsätzlich bewegt sich eine im Takt der NF magnetisierte Zunge aus Weicheisen im Zentrum einer Lautsprecherspule. Erzeugte Schwingungen überträgt ein an der Zunge befestigter Antriebsstift auf die schallabstrahlende Membrane. Diese besteht meist aus einem steifen Spezialpapier und ist so geformt, dass sie möglichst keine Eigenschwingungen ausführen kann. Dabei kommen **Konus-Lautsprecher**, **Falzmembranen** (z.B. **Protos**, **Siemens**, **Arcotron**), **Sektoren-Lautsprecher** (z.B. **Sektorfar**) oder **Fächermembranen**, eine Art runde Falz-Lautsprecher aus der Grammoteknik (spez. in Frankreich) vor.

Da bei verschiedenen Empfangsgeräten dem NF-Wechselstrom ein Gleichstrom unterlagert ist, achtet man darauf, dass dieser nicht dem Permanentmagneten entgegenwirkt. Manche dieser Lautsprechersysteme weisen eine von aussen bedienbare Vorrichtung auf. Damit lässt sich die **Vorspannung** dem Gleichstromanteil des Gerätes anpassen. Grundsätzlich erfolgt dies entweder durch Pappzwischenlagen (Ringe), Veränderung mit Konterschraubringen oder durch Bewegung des Magnetsystems.

Zweipol

Es handelt sich hier um einen einfachen, möglichst starken Permanentmagneten PM in Form eines Hufeisenmagneten mit seinen beiden Polen N/S und Polschuhen PS als Verengung.

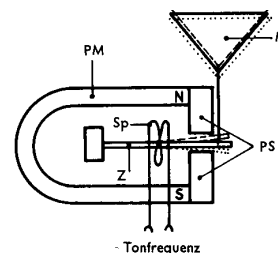


Bild «Z1» T7 [135-697 links]
Magnetischer Lautsprecher, Zweipolssystem

Die fest eingespannte Zunge Z überträgt die durch die Spule Sp induzierten Schwingungen auf die Membrane M.

Bei verbesserten Systemen verringert man mit einer Kompensationsanordnung nichtlineare Verzerrungen. Der Hebelarm wird konform mit der zunehmenden Anziehungskraft - die quadratisch zunimmt - verkürzt, damit das Drehmoment annähernd konstant bleibt. Durch entsprechende Dimensionierung lassen sich tiefe Töne bevorzugen - beispielsweise beim **Gealion-Lautsprecher** der **AEF** [113-142]. Trotzdem verarbeitet das Zweipolssystem nur relativ geringe Leistungen sauber. Durch eine **Einstellvorrichtung** bewegt man die Zunge in die Mitte des Spaltes, wobei die Wiedergabe ruckartig an Lautstärke zunimmt, wenn sich die Zunge löst.

Vierpol

Statt zwei wirken hier vier Polschuhe. Mittels Erhöhung der Antriebskraft steigt der Wirkungsgrad; auch resultiert eine bessere Basswiedergabe. Der Anker bewegt sich wegen des Gleichstromanteils nicht mehr aus seiner Nulllage. Um Unsymmetrie auszugleichen, besitzen die meisten Vierpolsysteme eine **Einstellvorrichtung**. Anstatt eine Seite einzuspannen, lagert man die Zunge in der Mitte und lässt sie frei drehen. Zwischen entlasteten und nahezu entlasteten Systemen bestehen Unterschiede.

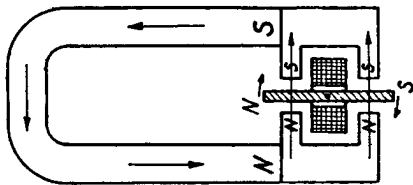


Bild «Z1» T8 [113-41]
Prinzipschema des entlasteten
Lautsprechersystems

Es existiert auch die folgende Anordnung: Die gleichnamigen Magnetpole liegen sich durch eine besondere Formgebung gegenüber. Die Zunge schwingt dadurch parallel.

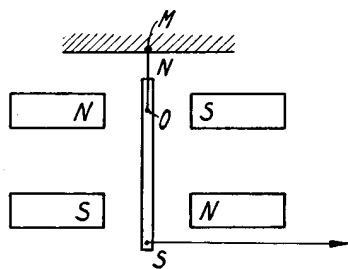


Bild «Z1» T9 [113-41]
Vierpol-Magnetsystem mit parallel
verschiebbarem Anker

Die Zunge ist federnd am Punkt M, ausserhalb der Magnetpole - auf beiden Seiten - zu befestigen. Bei diesem primitiveren System mit parallel verschiebbarem Anker lagert die Zunge auf einer Seite am Punkt O; eine separate Feder bringt die Rückstellkraft auf. Im diesem Fall kann nur das untere Ende der Zunge Schwingungen ausführen; das System ist nicht ganz entlastet.



Bild «Z1» T10 [113-143, 550]
Nahezu entlastetes Vierpolsystem von Grass & Worff.

Induktordynamisches System

Um die nachteilige Vorspannung zu vermeiden, kommt vor der Konstruktion des bekannten Freischwingers folgendes System zur Anwendung:

Zwischen den Polschuhen a und b eines oder mehrerer kräftiger Permanentmagnete sind zwei durch eine Traverse e fest miteinander verbundene Stäbchen-Anker c und d so angeordnet, dass sich das mittels Federn f gehaltene Ankersystem lediglich in der Pfeilrichtung bewegen kann.

Die Stäbchen-Anker c und d haben etwa gleiche Ausmasse wie die Polschuhe. Die Traverse e besteht aus nichtmagnetischem Material.

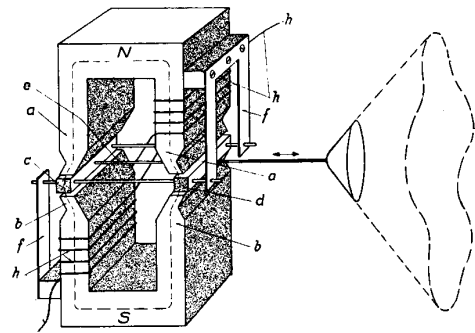


Bild «Z1» T11 [113-143,551]
Schema des induktordynamischen Systems.

Hier bleibt der Luftspalt bei grossen Ankerbewegungen konstant, was viele nichtlineare Verzerrungen vermeidet.

Die NF-Schwingungen gelangen jeweils nur zu den auf je einem Polschenkel sitzenden Spulen h. Dabei ergibt sich der durch strichpunktierte Linien gekennzeichnete Kraftfluss. Die Zeichnung berücksichtigt die im Bild angedeuteten Polaritäten des Dauermagneten.

Ein Induktordynamischer-Lautsprecher überträgt das Tonfrequenzband recht breit und dank dem schmalen Luftspalt erzielt er einen recht guten Wirkungsgrad [113]. Das schwierigste Problem dieser relativ aufwendigen Konstruktion bietet das Vermeiden von Unsymmetrien.

Verstärkende Systeme

Schon zu Urzeiten des Lautsprechers gibt es Versuche mit motorischen Systemen. Bewegungen der Zunge gelangen mittels eines Bandes über eine motorisch angetriebene Trommel oder breite Scheibe (Disk). Diese übermittelt durch verstärkte oder verminderte Reibung mit dem Band ihre Kraft der Membrane.

Es kamen Pressluftsysteme auf den Markt. Diese pneumatischen Lautsprecher verwenden keine Membrane. Sie besitzen ein von einem Verstärker gesteuertes Ventil, das schallmodulierte Pressluft über einen Trichter ausstrahlt [113]. Pressluftsysteme konnten sich nicht halten und waren lediglich für einige Zeit bei Grossveranstaltungen im Einsatz.

Der primäre Antrieb beruht bei den verstärkenden Systemen auf einem magnetischen System. Beim heutigen **Aktiv-Lautsprecher** ist jedoch ein im LS-Gehäuse eingebauter End-Verstärker vorhanden.

Verstärkende Systeme gibt es vor dem Einsatz von Röhren und nachher. Zuerst ist es ein Versuch der Verstärkung überhaupt, dann der Versuch einer preisgünstigeren Kraftverstärkung und erst viel später lediglich eine Aufgabenteilung zur Vereinfachung einer räumlich geteilten Anlage.

Freischwinger

Bis zur Einführung der dynamischen Lautsprecher und lange danach hat sich der Freischwinger als besonders billiger Lautsprecher etabliert.

Durch eine Anordnung der **Zunge ausserhalb der Pole** kann diese bei grossen Ausschlägen an den Polen nicht anstossen. Grössere Lautstärken sind damit möglich [107]. Zudem bleibt der Abstand zum Magneten einigermaßen konstant und es entstehen deshalb weniger Verzerrungen.

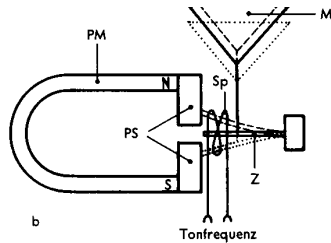


Bild «Z1» T12 [135-697 rechts]
Prinzip des Freischwinger-Systems

Lassen Sie sich von diesem Konstruktionsbild, verglichen mit dem Zweipolssystem, nicht täuschen. Beim Freischwinger-Lautsprecher können Zunge Z, Spule Sp und deren Halterung innerhalb des Magneten sein, wobei die Zunge vor der Innenkante des Polschuhs PS vorbeistreicht. Die Pole des permanenten Magneten sind beim Freischwinger zugespitzt, um den magnetischen Kraftfluss nicht durch den Luftweg zwischen den beiden Polen an der Zunge vorbeizuführen. Er wird über den kleinen Luftweg in die Zunge geleitet [107].

Dynamische Systeme

Bisher behandelte Lautsprecher können normalerweise etwa 1,5 Watt aufnehmen, etwa 6 Watt die sogenannten Kraft-Lautsprecher. Der Frequenzumfang ist ausreichend, da die Tonzellen bzw. die elektrische Abtastdose oder der Pick-up keinen grösseren Frequenzumfang bringen. Man baut sie gemäss dem damaligen Lautsprecherprinzip auf. Durch die Verteilung der Rundfunksender auf einem 9 kHz-Raster sind bei der Wiedergabe nicht mehr als 4,5 kHz Tonumfang nötig.

Mitte der 20er Jahre (USA 1921) tauchen neue Systeme auf. Das Ummagnetisieren einer Zunge entfällt. Das dynamische System benötigt auch die kräftige, mechanische Vorspannung zur Rückführung von Anker und Membrane nicht mehr. Vier Formen von dynamischen Lautsprechern lassen sich unterscheiden: **Band-Lautsprecher**, **Blatthaller**, **Riffel-Lautsprecher** und **Tauchspulen-Systeme** (engl. **moving coil**) [254]. Nur das letzte System setzt sich allgemein durch; zwei Varianten entstehen.

Einige Jahre - und vor allem in den USA mit stärkeren Endstufen - erhält das anfangs kräftigere **elektrodynamische System** den Vorzug, bis ausschliesslich das einfachere **permanentdynamische System** Verwendung findet. Diese Entwicklung hat mit der Verwendung immer stärkerer Permanentmagneten zu tun. Bei der Suche nach besseren Metallkernen für Transformatoren entwickelt **GE** die **Alnico-Legierung** (Aluminium, Nickel, Kobalt), die sich als hoch ferromagnetisch herausstellt [196]. Mit dem Einsatz von starken Magneten kann ab ca. 1935 auch für Lautsprecher grosser Leistung die Fremderregung weggelassen.

Elektrodynamischer Lautsprecher

Er funktioniert grundsätzlich gleich wie das permanentdynamische System. Der Unterschied besteht in der Verwendung einer **Erregerspule** statt eines Permanentmagneten. Die Spule dient in den meisten Fällen zudem als **Siebdrossel** für den Anoden-Gleichstrom. In diesem Fall befindet sich die Erregerspule schaltungsmässig an der Siebkette des Netzteiles zwischen Lade- und Siebkondensator.

Die Spule hat den Nachteil der Erwärmung und führt eher zu Netzbrumm. Bei Geräten der 30er Jahre sind wegen der grösseren Ua die Wechselstromversionen oft mit dem elektrodynamischen und die Allstrom-Version mit dem permanentdynamischen Lautsprecher ausgerüstet.

Permanentdynamischer Lautsprecher

Der noch heute am meisten verwendete Lautsprecher basiert auf dem Prinzip des dynamischen Tauchspulen-Lautsprechers mit permanentem Magnet. Die nachfolgenden Erklärungen gelten ebenfalls für den elektrodynamischen Lautsprecher.

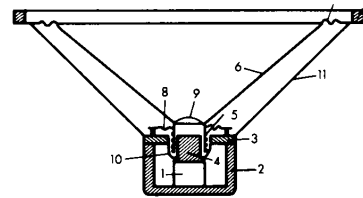


Bild «Z1» T13 [135-696]
Schnitt durch den dynamischen Lautsprecher

Ein Permanentmagnet 1 oder ein Elektromagnet in der Form eines Topfmagneten erzeugt ein konstantes, kräftiges Magnetfeld. Das Joch 2 ist abgesehen von den ersten Typen kreisförmig und schliesst mit Polplatten 3 möglichst eng an den Polkern 4 an. Dazwischen bleibt lediglich ein schmaler Spalt, in dem sich die Schwingspule 5 axial frei bewegt. Sie treibt die Konusmembrane 6 an, die der Anregung durch eine NF mit proportionaler Hubbewegung folgt. Am anderen Ende halten Einspannsicken 7 die Membrane. Durch eine wellenförmige Form an diesem Rande vermindert sich der Widerstand gegen die Bewegungen.

Schwingspule und inneren Teil der Membrane hält eine Zentriermembrane 8, die aus gut federndem Isoliermaterial besteht. Die Einstellung erfolgt in der Weise, dass die Schwingspule weder an der Polplatte noch am Polkern streifen kann. Die Feder ist anfangs am unteren Teil der Konusmembrane befestigt. Ab Mitte der 30er Jahre wird Vorderzentrierung bevorzugt. Eine Kalotte 9 schützt vor dem Eindringen von Staub in den Spalt, der ca. 1,2 mm Breite aufweist. Unten ist oft zusätzlich ein Staubschutzring 10 angebracht. Ein meist metallischer Korb 11 hält den Lautsprecher. Den Aussenrand der Konusmembrane haltet man am Rande durch einen Filzring 12 weich gegen das Chassis.

Zu Beginn kommen hochohmige Schwingspulen zwecks direkter Einschaltung in den Anodenkreis vor. Aus mechanischen und elektrischen Gründen verdrängen niederohmige Spulen diese rasch, auch wenn die hochohmige Ausführung vereinzelt bei Geräten der 60er Jahre wieder zu finden ist. Meist sind die beiden Leiterenden der Spule an der Membrane selbst befestigt und darauf hochflexibel weitergeführt. Der **Ausgangstrafo** für niederohmige Systeme sitzt oft auf dem Lautsprecherkorb.

Die Magnete erreichen in den USA schon bald, in Deutschland ab etwa 1933 eine Feldstärke von 7000-12000 Gauss - z.B. durch **Oerstitmagnete** [113]. Etwas später ermöglichen **Alnico-Legierungen** kraftvolle permanentdynamische Lautsprecher zu realisieren. Die USA waren Europa in bezug auf gute Legierungen für Permanentmagneten einige Jahre voraus. Die magnetischen Lautsprecher zeichnen sich durch einen recht hohen Wirkungsgrad aus, den die dynamischen nicht erreichen. Dieser beträgt bei älteren dynamischen Lautsprechern etwa 5 und später um 10-15 %. Heute gibt es Hi-Fi-Systeme, die lediglich einige Promille Wirkungsgrad aufweisen!

Kapazitive Systeme

Unter diese Kategorie fallen zur Zeit der «Radios von gestern» zwei Systeme, nämlich der **Kristall-Lautsprecher** und der **Kondensator-Lautsprecher**. Der Kondensator-LS ist heute noch als **elektrostatischer Lautsprecher** - vor allem als Hochtöner - im Gebrauch.

Kristall-Lautsprecher

Etwa 1932 wird dieser Lautsprecher als wichtige Neuerung angepriesen. Mit zwei Kristallplatten nutzt man den piezoelektrischen Effekt aus. Ab ca. 1935 gerät das System in Vergessenheit.

Elektrostatischer Lautsprecher

Zwischen zwei kräftigen, feststehenden, in geringem Abstand voneinander montierten und mit Schallöchern versehenen Metallplatten befindet sich eine dünne, mit Kohlekörnern bzw. einer Metallschicht bedeckte Gummiplatte oder Metallmembrane ausgespannt. Diese ist gegen die beiden Platten isoliert. Durch einen niederfrequenten Strom schwingt die Membrane. Die beiden Platten benötigen eine hohe Gleichspannung von - wenn möglich - mehr als 1000 Volt. Sie wirken so als Kondensator. Ich frage mich, wie man als Sammler einen alten Lautsprecher dieser Bauart findet. Das Prinzip steht jedoch bereits Mitte der 30er Jahre in Diskussion. Heute ist er eine der teuersten und besten Lösungen zur Abstrahlung von (vor allem) hohen Tönen.

Auszug aus dem Fachbuch «Radios von gestern»
(Ernst Erb)

Copyright Ernst Erb