

Elektrostatische Lautsprecher

“Gewusst wie“

Capaciti

Warum heißen Elektrostaten eigentlich Elektrostaten ?

Eigentlich müssten Diese „Kondensaten“ heißen. Aber mal Spaß beiseite. Ein Elektrostat ist technisch gesehen ein elektrischer Kondensator. Ein Kondensator kann elektrische Energie (Ladung) zwischen zwei elektrisch isolierten Platten speichern und Diese auch wieder abgeben. Aber im Gegensatz zu einem üblichen Kondensator wird die gespeicherte Ladung nicht im elektrischen Stromkreis an andere Bauteile abgegeben, sondern intern im Bereich hörbarer Frequenzen in entsprechende Bewegung umgesetzt.

Stellen Sie sich vor, dass eine Platte des Kondensators unbeweglich, die Andere aber beweglich ist. Wenn man nun die Ladungen der Kondensatorplatten ändert (Menge, Polarität, Frequenz), dann bewegt sich die bewegliche Platte entsprechend der Ladungsänderung, da nun Anziehungs- oder Abstoßungskräfte wirksam werden.

Menge	=>	Mehr oder weniger Bewegung (Lauter oder Leiser)
Polarität	=>	Richtung der Bewegung (Hin und Her ergibt Schwingung und folglich Töne)
Frequenz	=>	Tonlage (hoher oder tiefer Ton)

So einfach geht das !

Jetzt können sie sich vielleicht ungefähr vorstellen warum das Ganze funktioniert. Jetzt fehlt nur noch die Erklärung für die Bezeichnung elektrostatischer Lautsprecher oder Elektrostat.

Sicherlich kennen Sie die Eigenschaften von Magneten. Diese haben zwei so genannte Pole. Bringt man die Enden zweier Magnete mit unterschiedlichen Polen zusammen, dann ziehen Sie sich an, bei gleichartigen Polen stoßen Diese sich ab. Das Ganze beruht auf magnetischen Kräften. Nach diesem Prinzip funktionieren herkömmliche, sog. dynamische Lautsprecher.

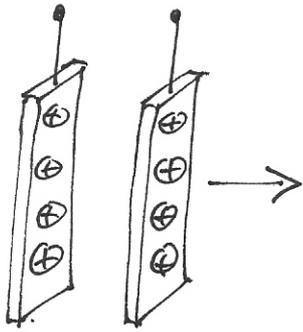
Mit den Ladungen in einem Kondensator verhält sich das ähnlich. Es gibt positive Ladungen (+) und negative Ladungen (-). Unterschiedliche Ladungen ziehen sich an, Gleichartige stoßen sich ab. Im Gegensatz zu den Magneten herrscht hier nicht die magnetische, sondern die elektrostatische Kraft.

Daher auch die Bezeichnung elektrostatischer Lautsprecher oder Elektrostat. Interessanterweise ist die elektrostatische Anziehungskraft mal so eben 100 – 1000 mal schwächer ist als die Magnetische.

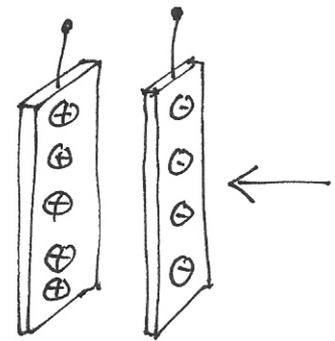
Und wie macht ein Elektrostat nun richtige Musik ?

Musik machen kann er nun leider nicht, aber er kann entsprechende Signale einer Stereoanlage derart in hörbaren Schall umwandeln, dass es für unser Ohr wie Musik klingt.

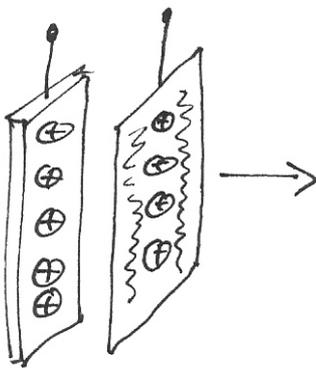
Wir wollen versuchen Ihnen in Verbindung mit ein paar einfachen Handskizzen die Funktionsweise eines Elektrostaten zu erläutern.



Hier sehen Sie zwei elektrisch leitfähige Platten. Die linke Platte ist fest, die Rechte beweglich. Lädt man nun beide Platten mit positiver oder beide mit negativer Ladung, dann wird die bewegliche Platte von der Festen abgestoßen. Werden die Platten mit unterschiedlicher Ladung aufgeladen, dann wird die Bewegliche angezogen.



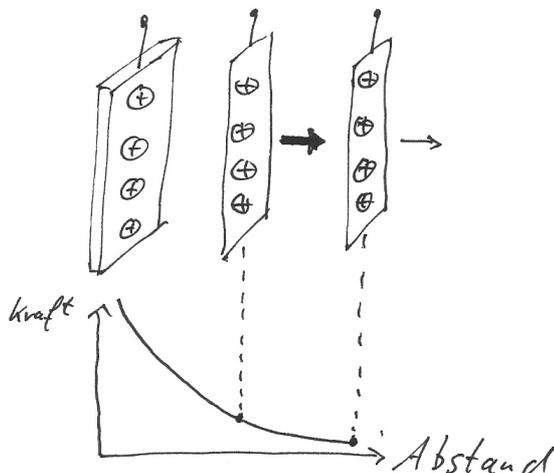
Man kann sich gut vorstellen, dass eine Platte ein gewisses Gewicht besitzt und nur schwer in Bewegung versetzt werden kann. Daher wird die bewegliche Platte dünn und folglich leicht gemacht.



Bei einem Elektrostaten ist dies dann keine Platte mehr, sondern eine Kunststofffolie. Diese Folie muss elektrisch leitfähig beschichtet werden, da Kunststoffe isolierend sind und somit ohne Beschichtung keine Ladung aufgebracht werden könnte. Capaciti Elektrostaten haben Folien die lediglich $4,5\mu\text{m}$ dick sind. Das ist sieben mal dünner als ein menschliches Haar.

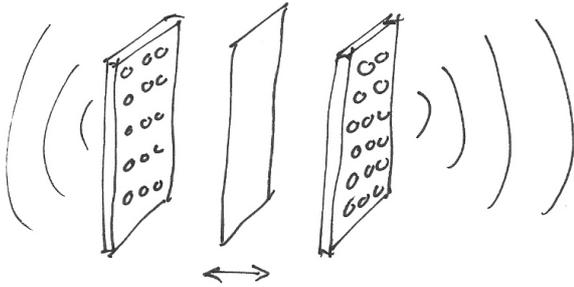
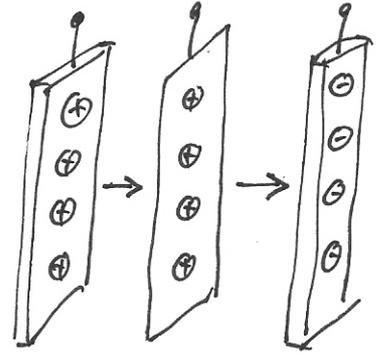
Diese dünne und somit sehr leichte Folie ist ein Vorteil von Elektrostaten. Die bewegte Luft ist bis zu 6 mal schwerer als die Folie. Es leuchtet ein, dass eine leichte Membran gewollten Bewegungsänderungen schneller folgen kann als eine Schwere. Ein weiterer Vorteil ergibt sich durch die Krafteinwirkung auf jedem Punkt der Folie. Herkömmliche Lautsprecher werden nur in der Mitte der schall erzeugenden Membran angetrieben. Bei schnellen Bewegungen (hohe Töne) können die äußeren Bereiche der Bewegung nicht mehr exakt folgen und die Membran schwingt in sich. Diese ungewollte Schwingung überlagert sich den Schwingungen des Musiksignals und verfälscht diese.

Wenn jetzt die Ladungen z.B. 1000 mal in der Sekunde Ihr Vorzeichen ändern (Polarität), dann bewegt sich die Folie auch 1000 mal pro Sekunde Vor und Zurück. Die Frequenz dieser Schwingung ist dann 1000 Hertz (1000 Hz) und entspricht ungefähr der Tonlage einer weiblichen Singstimme.



Da die Kraft auf die bewegte Folie mit zunehmendem Abstand zur festen Platte geringer wird, ist die Kraftwirkung auf die Folie nicht linear. D.h. die Folie erfährt mehr Kraft, wenn sie sich nahe der festen Platte befindet und weniger wenn Sie sich weiter entfernt. Somit bewegt sich die Folie nicht gleichmäßig schnell Vor und Zurück.

Es gibt aber einen einfachen Trick. Man bringt eine zweite feste Platte auf der anderen Seite der Folie an. Nun ändert man nur noch die Polarität der Platten und gibt der Folie eine konstante Ladung (meistens Positiv). Nun sind die Anziehungs- und Abstoßungskräfte auf beiden Seiten gleich groß und damit die Bewegung sehr gleichmäßig.

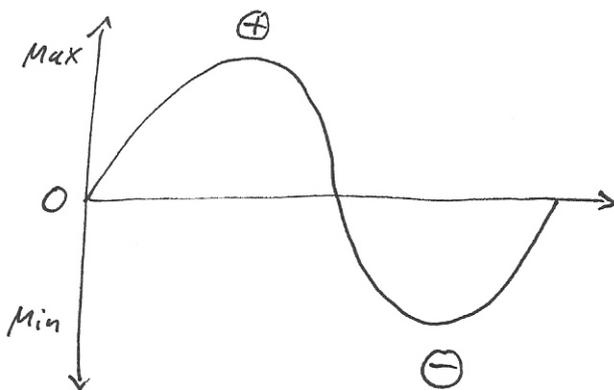


Die zwei festen Platten sind nicht sonderlich schalldurchlässig, die Schwingung der Folie somit unhörbar. Daher werden in die zwei Platten viele kleine Löcher eingebracht, durch die der erzeugte Schall der Folie abgestrahlt werden kann. Dann nennt man die Platten Statoren. Übrigens macht man die Statoren beabsichtigt stabil, damit diese nicht mitschwingen - Schwingen soll nur die Folie.

Die Statoren müssen nicht gelocht sein. Grundsätzlich geht alles, was elektrisch leitfähig und schalldurchlässig ist (Metallnetz, Drahtstruktur...). Damit die Folie nicht wie ein loses Blatt zwischen den Statoren ungeführt ist, wird diese in einem umlaufenden Rahmen eingespannt. Eine eingespannte und bewegliche Folie nennt man auch Membran. Auf diesen Rahmen werden auch die Statoren beidseitig befestigt. Diese Konstruktion bildet dann eine Einheit. Da die Membran eingespannt ist und sich dennoch bewegt, muss diese sehr reißfest sein.

Wie oben erwähnt wird die Kraft mit zunehmendem Abstand der Membran zu den Statoren geringer. Tiefe Frequenzen (Bass) benötigen aber große Bewegungen der Membran. Wenn man mit einem Elektrostaten tiefe Frequenzen erzeugen will, muss man den Abstand groß machen. Folglich wird die Kraft geringer und der elektrostatische Lautsprecher spielt bei gleich bleibender Leistung der Stereoanlage leiser. Das ist ein erheblicher Nachteil von Elektrostaten, zumindest wenn diese richtig tiefen Bass wiedergeben sollen. Man braucht dann sehr kräftige Verstärker.

Wie werden aus dem Musiksignal die Ladungen erzeugt und auf die Statoren gebracht ?

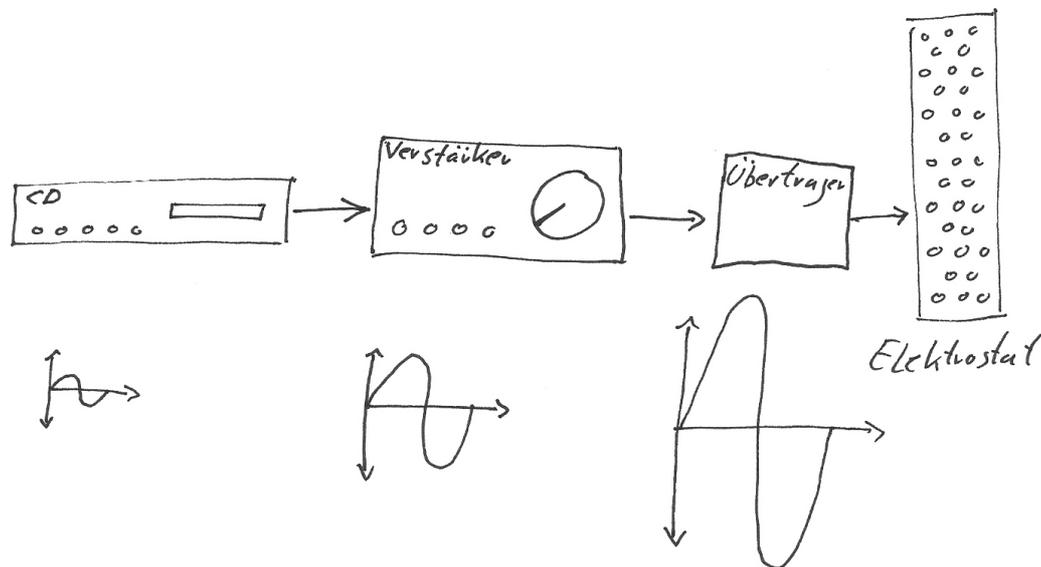


Ein Musiksignal besteht aus sinusförmigen Schwingungen, d.h. eine Schwingung durchläuft ein „Berg“ und ein „Tal“, man könnte auch sagen einen positivsten und negativsten Punkt.

Na also, da haben wir ja die Voraussetzung für die notwendigen positiven und negativen Ladungen. Leider ist aber die Energie der Musiksignale z.B. eines CD-Spielers viel zu gering um die Folie in Bewegung zu versetzen.

Na gut, dann hängen wir noch einen Verstärker dran – braucht man bei normalen Lautsprechern schließlich auch.

Obwohl nun ein Verstärker eingesetzt wird, reicht dies immer noch nicht aus. Nun macht sich die wesentlich schwächere elektrostatische Kraft nachteilig bemerkbar. Es wird noch ein zusätzliches Bauteil benötigt, ein so genannter Übertrager. Das ist im Grunde nichts Anderes als ein Transformator, also ein Bauteil, welches eine niedrige Spannung in eine Höhere umwandeln kann. Und höhere Spannung bedeutet auch mehr Ladung

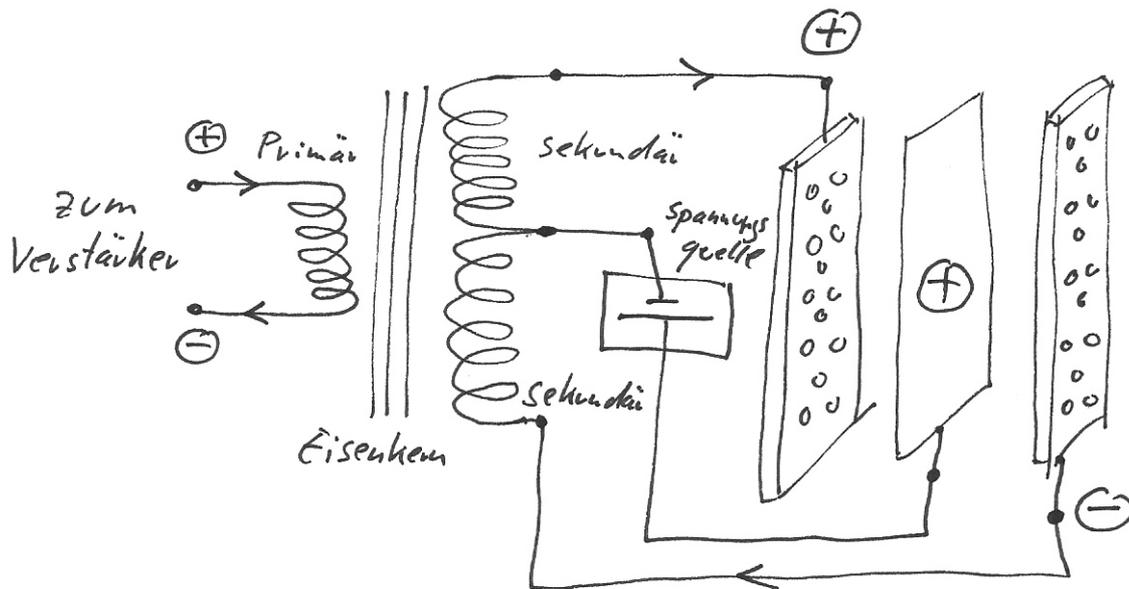


Der Übertrager ist so aufgebaut, dass auf einem Eisenkern mehrere Spulen aus gewickeltem Kupferdraht möglichst nah aneinander aufgebracht werden. Hier nutzt man sogar bei einem Elektrostaten das Prinzip des Magnetismus. Wenn die sog. Primärspule an den Verstärker angeschlossen wird, dann fließt das Musiksignal durch diese Spule und erzeugt ein Magnetfeld, welches durch den Eisenkern verstärkt wird. Dieses Magnetfeld fließt auch durch die Sekundärspulen, an denen die beiden Statoren des Elektrostaten angeschlossen sind.

Ist die Anzahl der Kupferdrahtwindungen der Sekundärspulen (Bildlich: 1 Windung = 1 mal um den Finger wickeln) 100 mal größer als die der Primärspule, dann wird in den Sekundärwicklungen durch das Magnetfeld eine 100 mal höhere Spannung erzeugt (technisch: induziert). Diese höhere Spannung bedeutet auch mehr Ladung an den Statoren, die nun ausreicht um die Membran zu bewegen.

Dieser Übertrager muss besondere Anforderungen erfüllen. Schließlich soll er Frequenzen von 20 – 20000 Hz ohne Veränderung der Signale um bis zu 100-fach ! hoch transformieren. Solche Übertrager sind sehr aufwendig konstruiert und folglich teuer.

Jeweils ein Ende der Sekundärspulen werden miteinander verbunden und an einer Spannungsquelle geerdet. Dadurch sind diese Spulenenden auf „Null“-Potential, d.h. es entstehen hier keine Spannungen. Die Spannungen liegen am anderen Ende der Spulen an und werden den Statoren zugeführt. Übrigens werden die Sekundärspulen derart gewickelt, dass eine Spule eine positive Spannung erzeugt und die Andere eine Negative, oder umgekehrt.



Die besagte Spannungsquelle lädt die Membran konstant positiv mit bis zu 5000 Volt auf – Keine Angst, es fließt nur ein sehr kleiner Strom. Sie könnten die Spannungsquelle sogar berühren. Strom ist lebensgefährlich, nicht Spannung. Im Takt der Musik wechseln die Spulen und somit auch die Statoren Ihre Polarität und bewegen dann die Membran entsprechend Vor und Zurück.

Und das ergibt dann eine faszinierende Art und Weise der Musikwiedergabe !

Es bleibt noch anzumerken, dass es Elektrostaten bereits seit ca. 1870 gibt ! Das Funktionsprinzip ist bis heute unverändert, aber neue Technologien haben große Fortschritte ermöglicht. Heute braucht man zum Glück keine Schweinedärme mehr, um damit die Schall erzeugende Membran zu realisieren. Das ist kein Witz, das war damals wirklich so !

Unser Respekt gebührt dem Engländer Peter Walker, der in den 50er Jahren den Elektrostaten konstruktiv marktreif gemacht hat. Seit dieser Zeit zählen Elektrostaten zu den hochwertigsten Lautsprechern. Wollen wir mal hoffen, dass Elektrostaten auch die nächsten 50 Jahre so manche hoch gepriesene neue Technologie überdauern und uns weiterhin mit Ihrem Klangbild faszinieren.

So, wenn wir Sie nur ein bisschen für diese einzigartigen Lautsprecher begeistern konnten, dann sollten Sie unbedingt einmal die Gelegenheit wahrnehmen Elektrostaten live zu erleben.

Vielleicht ja auch bei uns ?! Bis dahin grüßt Sie das **Capaciti-Team**