

# **Offene Lautsprecher**

Aufbau und Prinzip

Vor und Nachteile

Till Gostner

45505

# Einleitung

Treiber, auch Chassis genannt, also das Teil eines Lautsprechers welches das elektrische Tonsignal in die Bewegung der umliegenden Luft umwandelt, werden üblicherweise in Quaderförmige Gehäuse eingebaut. Der Grund hierfür ist der akustische Kurzschluss. Dieser ist die Verringerung der Schallabstrahlung eines Treibers durch den ungehinderten Druckausgleich von Vorder und Rückseite der Treibermembran. Die Druckschwankungen welche vor und hinter dem Treiber entstehen sind, vor allem im Bassbereich, fast genau Gegenphasig, was zu einer Auslöschung und somit zu einem geringeren Pegel führt. Um diesen Druckausgleich zu verhindern und einen möglichst hohen Schalldruck zu erreichen wird der Treiber in ein luftdichtes Gehäuse eingebaut. So entstand der umgangssprachliche Ausdruck für Lautsprecher: „Box“. Da der maximal erreichbare Pegel, bei kommerziellen Lautsprecherdesigns vor allem im PA Bereich, eine sehr hohe Priorität hat, gibt es nur eine sehr kleine Anzahl Hersteller welche offene Lautsprecher bauen. Beispiele hierfür sind Martin Logan, ESL, Linkwitz und Reflector Audio. Diese Hersteller sind alle im Hochpreissegment angesiedelt und zielen auf eine audiophile Kundschaft ab, welche stärker auf die Klangqualität und die Abbildung im Raum, als auf Preis, Nutzerfreundlichkeit, Portabilität oder maximale Lautstärke achtet.



Reflector Audio Bespoke  
E15



LX 521



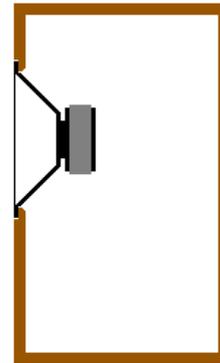
Quad ESL57



Martin Logan  
Renaissance ESL 15

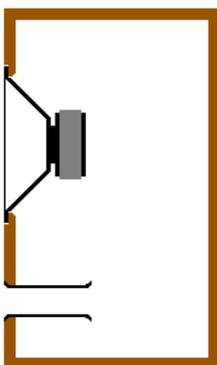
## Vorteile geschlossener Lautsprecher

Geschlossene Lautsprecher haben im Vergleich zu offenen Lautsprechern den Vorteil unter gleichen Bedingungen (Treiber und Verstärkerleistung) durch die Vermeidung des akustischen Kurzschlusses einen höheren Pegel erzeugen zu können. Die einfachste Möglichkeit den akustischen Kurzschluss zu verhindern ist ein luftdichtes Gehäuse. Das Volumen des Gehäuses verändert hierbei den Frequenzgang. Je größer das Gehäuse, desto tiefer ist die untere Grenzfrequenz des Lautsprechers. Je kleiner das Gehäusevolumen, desto höher ist die untere Grenzfrequenz und es kommt zu einer Resonanzbildung bevor der Frequenzgang abfällt. Mit einem Equalizer lässt sich dies wieder ausgleichen und somit sind auch in kleinen Gehäusen und mit kleinen Membranen sehr tiefe untere Grenzfrequenzen möglich. Ein Beispiel hierfür ist der KH310 Studiomonitor von Neumann. Er hat ein geschlossenes Gehäuse und stellt bei einer Treibergröße von nur neun Zoll Frequenzen bis 34Hz dar. Der Begrenzende Faktor für den maximalen Pegel ist letztendlich nur das Verschiebevolumen, welches sich aus der maximalen Auslenkung ( $X_{max}$ ) und dem Flächeninhalt ( $S_d$ ) der Membran errechnet. Der Nachteil dieser Konstruktion ist, dass die Hälfte der durch den Verstärker in den Treiber geschickten Energie verschwendet wird. Das Chassis erzeugt auch im geschlossenen Gehäuse Schalldruck, welcher jedoch nicht beim Hörer ankommt. Um auch den nach hinten abgestrahlten Schall zu nutzen gibt es verschiedene Möglichkeiten.



## Bassreflex

Bei einem Bassreflex wird ein Reflexport (Rohr) in das Gehäuse gesetzt. Abhängig vom Gehäuse und Portvolumen, entsteht im Port eine Resonanzfrequenz welche durch den Schall im Gehäuse angeregt wird. Durch geschickte Wahl der Volumen lässt sich hiermit höherer Schalldruck im Bassbereich erzeugen ohne dass zusätzliche Verstärkerleistung notwendig wird. Ein Nachteil dieser Bauart ist dass der direkt abgestrahlte Schall und der Schall welcher aus dem Reflexport kommt, nicht genau gleichphasig beim Hörer ankommen da der rückwärts abgestrahlte Schall einen längeren Weg zurücklegen muss. Dies sorgt im Vergleich zu geschlossenen Gehäusen für eine schwammigere Basswiedergabe. Außerdem ergibt sich unter Tuningfrequenz des Reflexports, ein Abfall der Lautstärke mit 24dB/Oktave, während ein geschlossenes Gehäuse mit nur 12dB/Oktave



abfällt. Ein flacherer Abfall der Lautstärke hört sich in der Regel natürlicher an, vor allem wenn die abgespielte Musik Bassläufe beinhaltet, die in der Nähe der Frequenz liegen an der die Lautstärke anfängt zu fallen. Unter der Abstimmfrequenz des Ports gibt es außerdem keinen Widerstand für die Membran, daher verhält sie sich hier ähnlich wie in einem offenen Gehäuse. Das hat zur Folge dass der Treiber mit wenig Verstärkerleistung an seine mechanische Auslenkungsgrenze gebracht und zerstört werden kann. Ein Bassreflex Lautsprecher sollte daher einen Hochpass unter der Abstimmfrequenz besitzen um den Treiber vor zu starker Auslenkung zu schützen. In einem geschlossenen Gehäuse, wirkt die durch die bewegte Membran komprimierte Luft im Gehäuse wie eine Feder, welche den Treiber vor zu großer Auslenkung schützt. Der Bassreflex ist die am meisten verbreitetste Konstruktionsart von Lautsprechern da sie einen guten Kompromiss zwischen Lautstärke, Wiedergabequalität und Größe vereint.

## Horn

Bei einem Horn wird der Schall in einen Trichter geleitet welcher als akustischer Impedanzwandler dient. Dies erhöht den Wirkungsgrad und damit den Pegel im Bassbereich. Hörner gibt es in zwei Varianten. Beim Rearloaded Horn wird der rückwärts abgestrahlte Schall in den Trichter geleitet. Hier gibt es einen Phasenversatz zwischen vorwärts und rückwärts abgestrahltem Schall. Beim Frontloaded Horn befindet sich der Treiber in einem geschlossenen Gehäuse und der Trichter ist an der Vorderseite angebracht. Das Frontloaded Horn hat eine bessere Impulswiedergabe, während das Rearloaded Horn eine höhere Effizienz bietet. Um auch bei sehr tiefen Frequenzen unterhalb von 50Hz noch zu wirken muss das Horn sehr groß sein. Hörner werden daher hauptsächlich im PA Bereich eingesetzt, bekannte aktuelle Beispiele sind Void Acoustic (Rearloaded) und Funktion One (Frontloaded).



Funktion One Dance  
Stack



Void Incubus Stack

Es gibt noch zahllose weitere Konstruktionsformen, welche auf dem Hornprinzip oder der Bildung einer Resonanzkammer wie beim Bassreflex oder einer Mischform von Beidem bestehen.

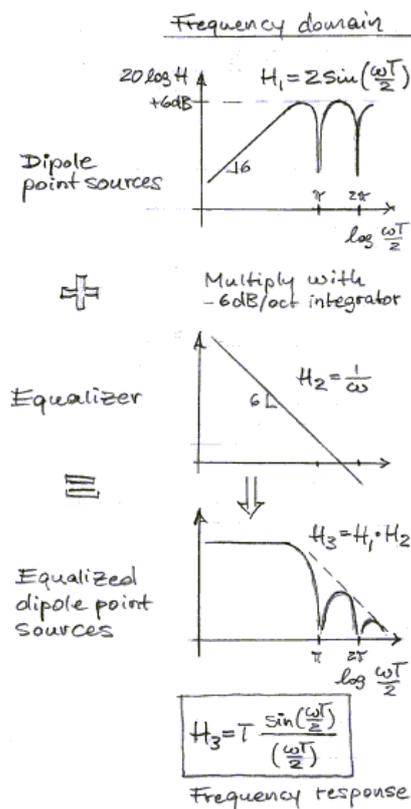
## Vorteile offener Lautsprecher

Offene Lautsprecher haben gegenüber den bereits beschriebenen Konstruktionsformen mehrere Vorteile. Diese Vorteile spielen sich dabei hauptsächlich in geschlossenen Räumen aus. Musikwiedergabe ist in geschlossenen Räumen problematisch. Dies liegt an der Bildung von Raummoden im Bassbereich und Reflektionen im Mittel und Hochton. Raummoden sorgen für eine von der Position abhängige Basswiedergabe da sie sich an verschiedenen Stellen im Raum bei verschiedenen Frequenzen unterschiedlich stark ausprägen. Hören drei Personen auf einem Sofa in einem geschlossenen Raum über eine Stereoanlage mit glattem Frequenzgang Musik, hat jeder Zuhörer einen anderen Frequenzgang im Bassbereich und ein andere Reflektionen. Das Problem der Raummoden lässt sich mit einem Equalizer nur für eine Position korrigieren. Um das Problem für alle, oder wenigstens mehr Positionen zu lösen, sind große Mengen von absorbierendem Material wie Steinwolle nötig. Eine weitere Lösung ist die aktive Bassabsaugung bei der die „überschüssige“ Bassenergie durch, zu den Hauptlautsprechern symmetrisch an der anderen Seite des Raums aufgestellte, phasenverkehrte Subwoofer ausgelöscht wird. Beide Möglichkeiten stellen einen erheblichen Aufwand finanziell dar. Das andere Problem sind Reflektionen. Sie verfälschen das Klangbild zusätzlich. Ein weiteres Problem ist das Abstrahlverhalten. Geschlossene Gehäuse strahlen im Bassbereich Omnidirektional und werden zu höheren Frequenzen hin richtend, nur nach vorne abstrahlend. Bei guten geschlossenen Lautsprecherdesigns wird darauf geachtet dass das Abstrahlverhalten zumindest im Übergangsbereich von verschiedenen Treibern möglichst gleich ist. Trotzdem ist mit geschlossenen Lautsprechern kein gleiches Abstrahlverhalten über den gesamten Frequenzbereich möglich da der Bassbereich immer Omnidirektional ist. Ein offener Lautsprecher löst beide Probleme zu einem gewissen Grad. Ein Basstreiber ohne Gehäuse hat zwar einen deutlich verringerten Wirkungsgrad, dafür jedoch eine Acht als Abstrahlverhalten. Dies ergibt sich durch die seitliche Auslöschung von vorder- und rückseitig abgestrahltem Schall. Da der akustische Kurzschluss den Schall nicht vollständig, sondern hauptsächlich zu den Seiten hin auslöscht, wird der Bass trotzdem gerichtet nach vorne und hinten abgestrahlt. Da somit radial deutlich weniger Schall abgestrahlt wird, werden die Raummoden weniger angeregt und es ergibt sich ein klarere Basswiedergabe. Auch bei den höheren Frequenzen wird Radial weniger Schall abgestrahlt und somit entstehen weniger Reflektionen. Diese lassen sich durch das offene Design nicht vollständig verhindern, jedoch sind die vorhandenen Reflektionen über den ganzen Frequenzgang homogen was zu einem natürlicheren Klangbild und gesteigerter Räumlichkeit führt. Ein weiterer Vorteil ist die Abwesenheit von Re-Radition. Dies beschreibt die Reflektion von Schall im Inneren eines Lautsprechergehäuses welcher eine Rückwirkung auf die Bewegung der Membran hat und somit eine Verfälschung des Signals

verursacht. Beim offenen Lautsprecher kann die Membran quasi „frei“ und ohne Rückfederung der Luft im Gehäuse schwingen. Dies birgt jedoch auch die Gefahr von zu starker Auslenkung, was eine genaue Abstimmung der zur Verfügung gestellten Verstärkerleistung und eines Hochpassfilters zum Schutz des Treibers notwendig macht. Es wird empfohlen die Lautsprecher mindestens 1 - 1,5m von allen Wänden entfernt aufzustellen. Ab dieser Entfernung braucht der rückseitig abgestrahlte Schall so lange um beim Hörer anzukommen, dass das menschliche Gehör eindeutig zwischen direktem und reflektiertem Schall unterscheiden kann.

## Technische Herausforderungen offener Lautsprecher

Treiber in offenen Gehäusen haben einen charakteristischen Frequenzgang welcher dem von Druckgradientenmikrofonen ähnelt. Es gibt eine Spitze unter der die Lautstärke mit 6dB/Oktave abfällt. Über der Spitze gibt es regelmäßig auftretende Senken. Die Position der Spitzen und Senken ist Abhängig von der Treibergeometrie und wie groß die Schallwand ist. Für den Bassbereich werden oft H-Frame Gehäuse verwendet, um den Weg des Schalls von Vorder zu Rückseite der Membran zu verlängern. Dies reduziert den Effekt des akustischen Kurzschlusses und verschiebt die erste Spitze in der Frequenz nach oben wodurch ein größerer nutzbarer Frequenzbereich ermöglicht wird. Durch den Abfall unter der ersten Spitze und die Senken darüber ist ein Equalizer notwendig um den Frequenzgang brauchbar machen. Es handelt sich hierbei um einen Tilt-EQ welcher seinen Mittelpunkt an der ersten Spitze und eine Steigung von -6dB/Oktave hat. Dieser EQ macht den Bereich bis zur ersten Spitze nutzbar. Durch die enorme Anhebung der tiefen Frequenzen benötigen offene Lautsprecher für den Bassbereich Treiber mit großem Xmax und große Membrandurchmesser, um auf höhere Pegel zu kommen. Der Linkwitz LX521 benötigt zB. vier 10" Treiber um auf 109dB Pegel zu kommen. Bei geschlossenen Lautsprechern sind hierfür weniger und kleinere Treiber nötig. Eine weiterer Aspekt bei der Entwicklung ist die Tatsache dass Treiber, ab der Frequenz welche der Wellenlänge des Durchmessers der Membran entspricht, anfangen zu bündeln und nur noch nach vorne abstrahlen. Da eines der



Ziele offener Lautsprecher ein gleichmäßiges Abstrahlverhalten ist, sollte jeder Treiber im Frequenzbereich abgetrennt werden bevor er anfängt zu bündeln.

Bass und Mitteltontreiber sind meist offene Konstruktionen, während Hochtöner für den Bereich ab ca. 2KHz meist geschlossen sind und nicht in beide Richtungen abstrahlen. Um auch in diesem Frequenzbereich Achtercharakteristik zu erhalten, benötigt man zwei gegenseitig platzierte Hochtöner die Phasenumgekehrt angesteuert werden. Dies simuliert das Verhalten eines einzigen Treibers welcher nach vorne und hinten gleichzeitig abstrahlt. Um über den kompletten Frequenzgang eine Achtercharakteristik zu erhalten sind unter Berücksichtigung aller bisher genannten Eigenschaften vier Treiber notwendig. Ein Beispiel hierfür ist der LX 521 Lautsprecher. Er hat zwei 10" Basstreiber in einem H-Frame Gehäuse, ein 8" Treiber für die unteren Mitten, einen 3" Treiber für die oberen Mitten und zwei gegenphasig angesteuerte Hochtöner für den Hochtonbereich. Abgesehen von den Hochtönern sind alle Treiber mit einem Tilt-EQ geglättet und unter der Bündelfrequenz abgetrennt. Die Frequenzweiche für ein solches Lautsprecher Setup ist, im Vergleich zu einem geschlossenen 2-Wege System, sehr komplex. Die Ansteuerung sollte aktiv, also vor den Endstufen, erfolgen, da die Anpassungen der verschiedenen Wirkungsgrade der Treiber viel Leistung verschwenden würde. Am einfachsten ist die Realisierung eines solchen Setups mit einem DSP mit ausreichend Kanälen und insgesamt acht Endstufen. Eine analog aktive Weiche vor den Endstufen ist auch möglich, erfordert jedoch exakte Bauteile mit geringer Toleranz, sodass beide Stereokanäle identisch klingen.

## Fazit

Offene Lautsprecher haben entscheidende Vorteile bei der Musikwiedergabe im Raum. Es sind keine Absorber nötig um ein klares und offenes Klangbild zu erhalten. Die Wiedergabe von räumlichen Inhalten und die Ortung im Stereofeld ist besser als bei geschlossenen Designs. Sobald man die Lautsprecher im Freifeld aufstellt, fallen jedoch alle Vorteile weg, da es hier keine Reflektionen mehr gibt. Hier sind herkömmliche geschlossene Lautsprecher überlegen. Weitere Nachteile sind die komplizierte Entwicklung und die Notwendigkeit von vielen DSP und Endstufenkanälen. Diese Nachteile machen offene Lautsprecher leider zu einem teuren Nischenprodukt, welches sich vorerst wahrscheinlich nicht für den durchschnittlichen Musikhörer oder auch Produzenten durchsetzen wird. Hierfür wären niedrigere Preise, ansprechenderes Design und effektiveres Marketing notwendig. Da viele Konsumenten mit dem Klang von heute üblichen Bluetooth Lautsprechern wie der JBL Charge 4 zufrieden sind, gibt es für Firmen wenig Anreiz offene Designs zu entwickeln. Trotzdem bieten offene Lautsprecher hervorragenden Klang in geschlossenen Räumen und sind beim Selbstbau auch vergleichsweise günstig.

# Quellen

[https://de.wikipedia.org/wiki/Akustischer\\_Kurzschluss](https://de.wikipedia.org/wiki/Akustischer_Kurzschluss)

<https://reflectoraudio.com/images/gallery/bespoke/e15/2.jpg>

[https://linkwitz.store/wp-content/uploads/2021/01/LX521.4oakgrey\\_H1200.jpg](https://linkwitz.store/wp-content/uploads/2021/01/LX521.4oakgrey_H1200.jpg)

[https://www.stereophile.com/images/styles/600\\_wide/public/887quad.promo\\_.jpg](https://www.stereophile.com/images/styles/600_wide/public/887quad.promo_.jpg)

<https://www.sg-akustik.de/shop/media/image/30/80/34/>

[Martin\\_Logan\\_Renaissance\\_ESL\\_15A.jpg](#)

<https://sound-au.com/articles/enclosure-f2-2.gif>

<https://sound-au.com/articles/enclosure-f2-3.gif>

<https://coherentdistribution.com/wp-content/uploads/2021/04/Funktion-One-dance-stack-range-edited-1024x576.jpeg>

<https://www.event-corp.de/blog/wp-content/uploads/2014/02/incubus-stack-big.jpg>

<https://www.linkwitzlab.com/index.htm>

<https://www.linkwitzlab.com/images/graphics/dip-eq1.gif>

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

[https://de.wikipedia.org/wiki/Dipol\\_\(Lautsprecher\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Dipol_(Lautsprecher))