

Beschallung

1. Technische Grundlagen zu Lautsprechern

Lautsprecher sind Schallwandler.

Das bedeutet?

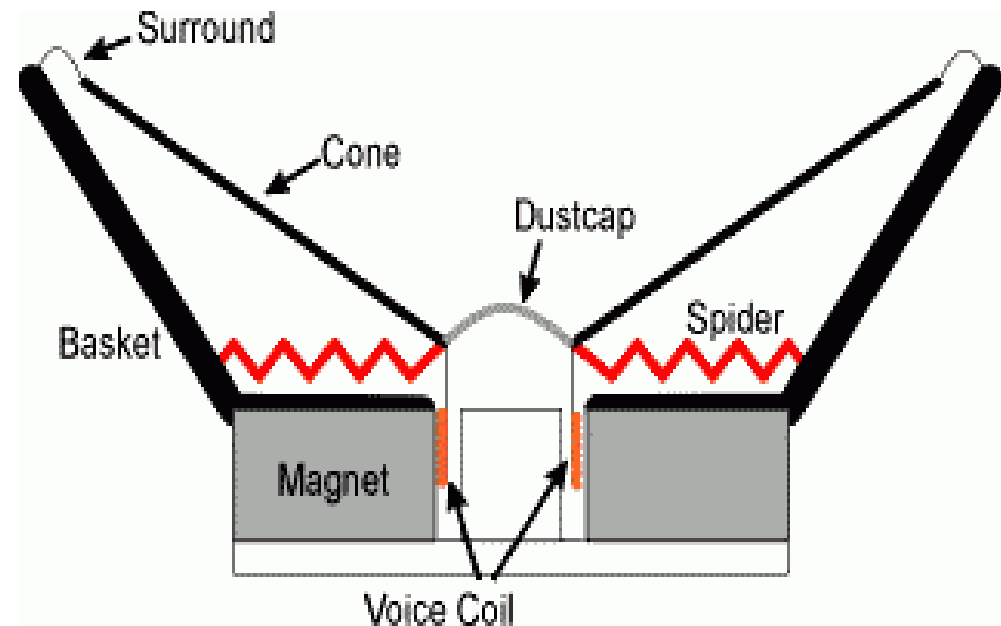
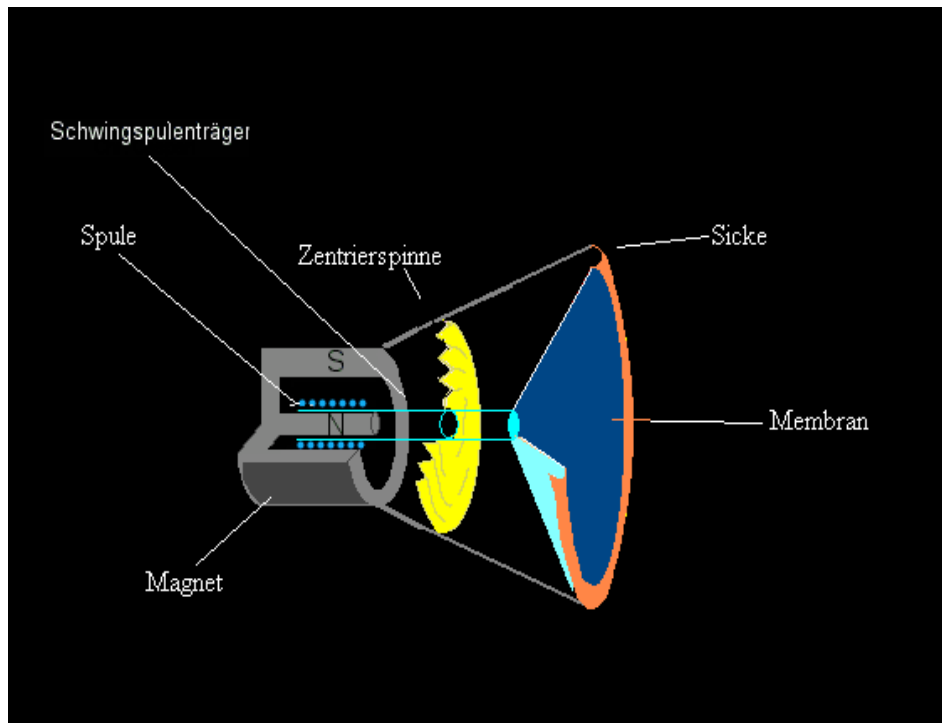
**Es gibt elektrostatische und elektrodynamische
Schallwandler (und zunehmend auch magnetostatische);
in Lautsprechern wie in Mikrofonen.**

Nur umgekehrt.

Beschallung

1. Technische Grundlagen zu Lautsprechern

1. Grundsätzlicher Aufbau elektrodynamischer Lautsprecher



Beschallung

1. Technische Grundlagen zu Lautsprechern

2. Wie kann eine einzelne Membran mehrere Frequenzen wiedergeben?

Während der Bewegung vor und zurück für eine tiefe Frequenz macht die Membran zusätzliche Bewegungen für höhere Frequenzen (Partialschwingungen).

Theoretisch kann also eine einzelne Membran funktionieren als breitbandiger, full-range Punktschallstrahler.

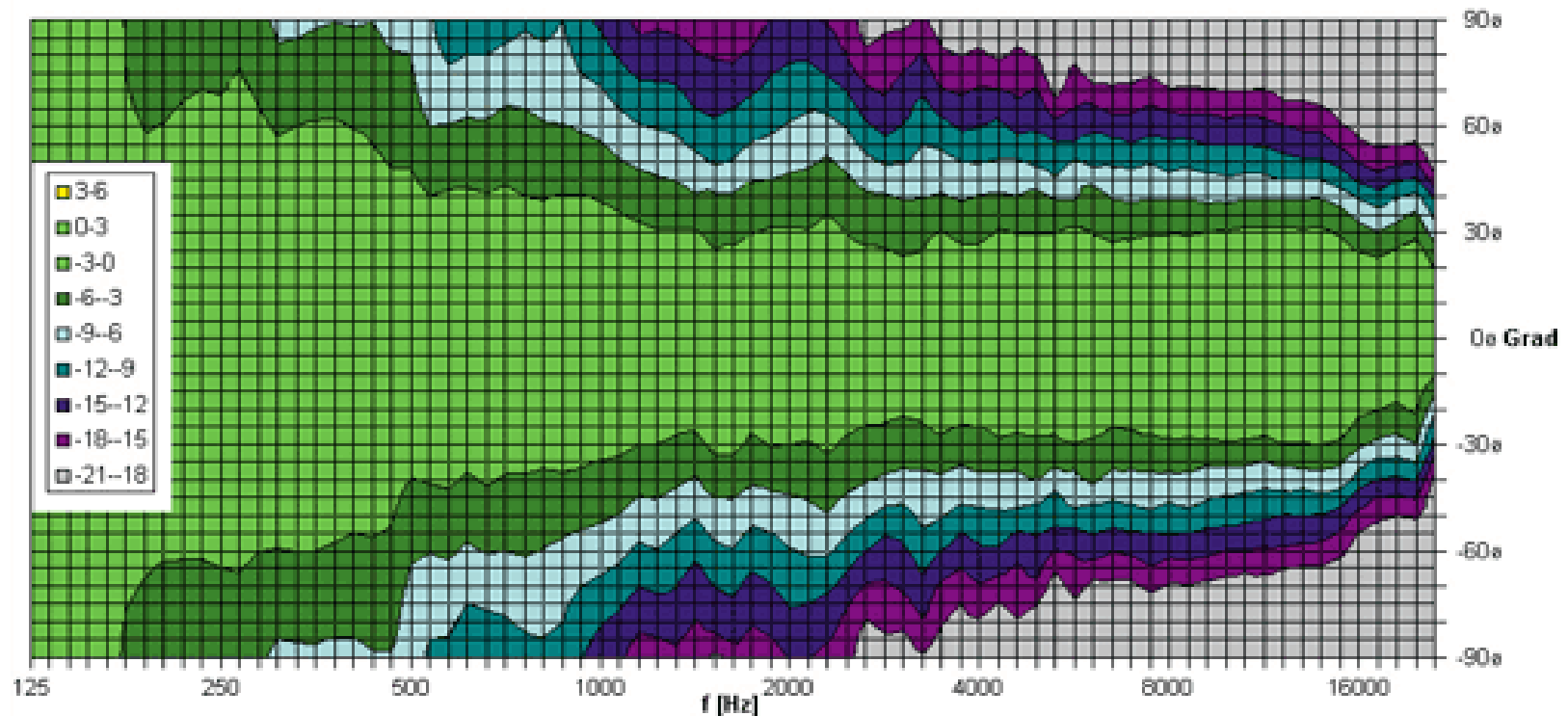
Das Problem dabei ist, eine Membran zu produzieren, die groß genug ist, 18Hz über eine weitere Strecke zu übertragen, aber trotzdem in der Lage ist, mit 18kHz zu schwingen.

Sie wäre zu schwer, die Masseträgheit wäre zu groß.

Beschallung

1. Technische Grundlagen zu Lautsprechern

3. Frequenzabhängige Direktivität von Lautsprechern



Klein&Hummel Pro-x-12-80 horizontale Abstrahlcharakteristik.
Die Legende bedeutet „Anstieg oder Abfall des Schalldruckpegels in dB“ (Quelle: Klein&Hummel)

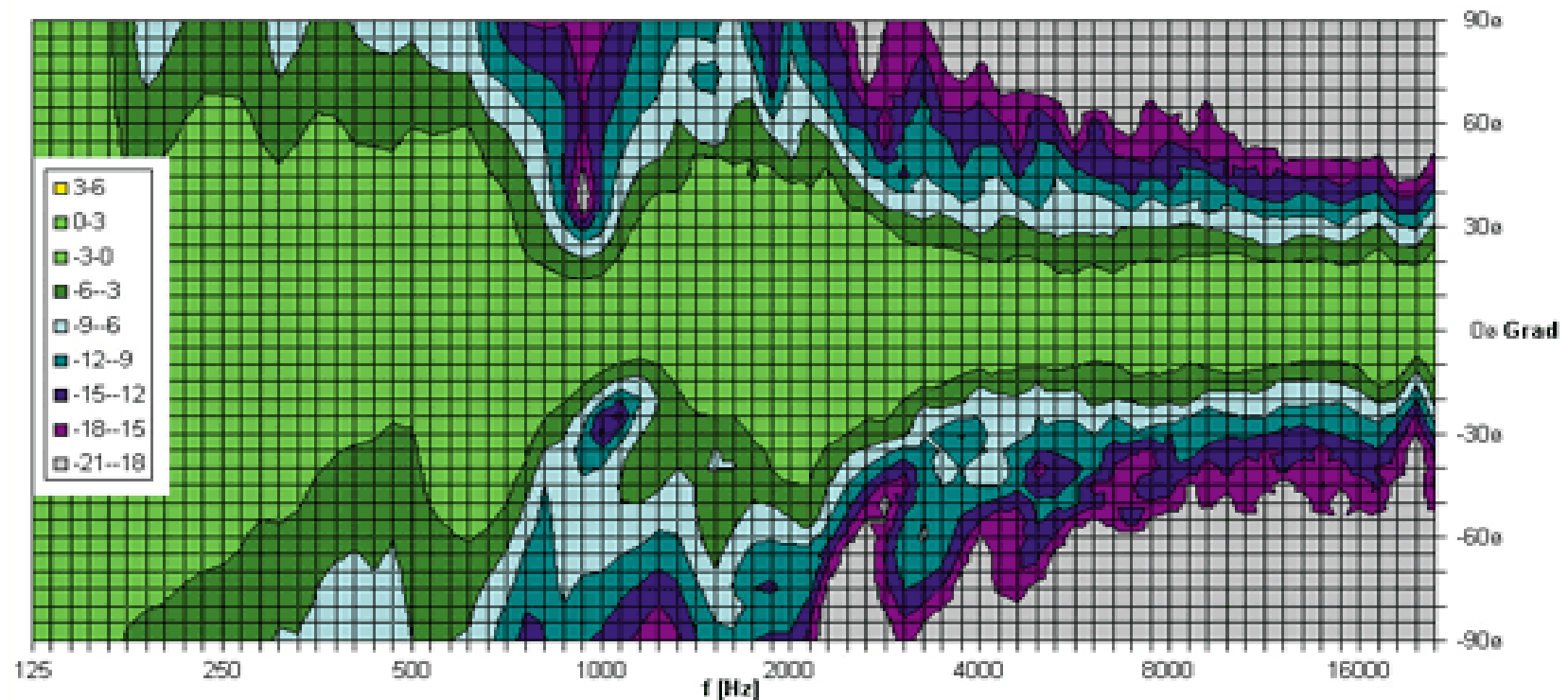
Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

1. Technische Grundlagen zu Lautsprechern

3. Frequenzabhängige Direktivität von Lautsprechern



Klein&Hummel Pro-x-12-80 vertikale

Abstrahlcharakteristik. (Quelle: Klein&Hummel)

Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

1. Technische Grundlagen zu Lautsprechern

4. Wirkungsgrad (Effizienz)

Der Wirkungsgrad eines Lautsprechers wird angegeben in dB_{SPL} in 1W / 1 m.

Das bedeutet, es wird der Schalldruckpegel angegeben (relativ zu $0\text{dB}_{\text{SPL}} = 2 \times 10^{-5}$ Pascal bei 1kHz), gemessen mit einem Messmikrofon in 1 Meter Abstand auf der Achse eines Lautsprechers, an dem eine Leistung von 1 W anliegt.

Problem dabei:

Diese Messung findet in einem schalltoten Messraum statt, der sich in vielerlei Hinsicht von jedem Raum in der wirklichen Beschallungswelt unterscheidet!

Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

2. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

1. Nennleistung und RMS

Die **Nennleistung** oder **Sinusleistung** ist definiert als die maximale Leistung eines Verstärkers bei:

- einem Sinuston mit der Frequenz 1kHz
- mindestens 10 Minuten Dauer
- bei einer Raumtemperatur von 15-35° C
- maximal 1% THD

Diese Parameter werden oft auch genutzt für die Angabe der Leistungsaufnahme von Lautsprechern.

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

1. Nennleistung und RMS

RMS: Root Mean Square (quadratischer Mittelwert oder Effektivwert).

Für Verstärker und Lautsprecher wird RMS üblicherweise angegeben für den gesamten Audiofrequenzbereich (20Hz - 20kHz) und der Wert erreicht auf diese Weise nur etwa 60% des Sinuswertes.

Was also sagt es uns, wenn bei einem Lautsprecher einfach dabei steht: 250W ?

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

2. Impedanz - Definition

Impedanz oder **Wechselstromwiderstand**

ist definiert als der frequenzabhängige Widerstand innerhalb jeder Schaltung, der aus Wechselstrom resultiert.

Wir sprechen hier über Wechselstrom (alternating current, AC), der zwischen Verstärker und Lautsprecher hin- und herfließt.

Daher ist es wichtig, sich klar zu machen, dass jeder Leistungsverstärker eine **Ausgangs impedanz** hat, die von seinem Innenwiderstand abhängt.

Gäbe es diesen Widerstand nicht, würde man den Strom größtenteils wieder zurück in den Verstärker pressen.

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

2. Impedanz - Definition

Jeder Lautsprecher wirkt mit seinem **Innenwiderstand** als Widerstand gegenüber dem Leistungsverstärker (Eingangswiderstand).

Wie bereits gesagt ist diese Impedanz frequenzabhängig.

Gemäß internationaler Normen sollen Hersteller eine **Nennimpedanz** angeben, die bei keiner Frequenz um mehr als 20% unterschritten werden darf.

D.h., je nach Frequenz liegt die tatsächliche Impedanz teilweise erheblich höher.

Die üblichen Nennimpedanzen liegen zwischen 4 und 16, gelegentlich 32 Ohm.

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

2. Impedanz - Leistungsanpassung

Grundsätzlich sollten die Ausgangsimpedanz des Leistungsverstärkers und die Eingangsimpedanz des Lautsprechers (Lastwiderstand) gleich sein.

Wenn die Ausgangsimpedanz des Verstärkers geringer ist als die Eingangsimpedanz des Lautsprechers, ist der Wirkungsgrad gering.

Ist die Ausgangsimpedanz wesentlich höher als die Eingangsimpedanz, kann das System Schaden nehmen.

(Überlastung des Lautsprechers oder Kurzschluss im Leistungsverstärker.)

Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

2. Impedanz - Leistungsanpassung

Tendenziell wählt man die Ausgangsimpedanz ein wenig höher als die Eingangsimpedanz, um auch bei Pegelspitzen genug Leitung für eine unverzerrte Wiedergabe zur Verfügung zu haben.

Die meisten Lautsprechersysteme können kurze Spitzenpegel verkraften, die ein Vielfaches ihrer Sinusleistung betragen.

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

2. Impedanz - Lautsprecher zusammenschalten

Parallelschaltung senkt die resultierende Eingangsimpedanz (Lastwiderstand):

$$1/R_{\text{total}} = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + 1/R_4 \text{ etc.}$$

Achtung: Die meisten mit „speaker output“ bezeichneten Anschlüsse an Lautsprechern sind einfach Parallelanschlüsse!

Reihenschaltung addiert die resultierenden Lastwiderstände:

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \text{ etc.}$$

Beschallung

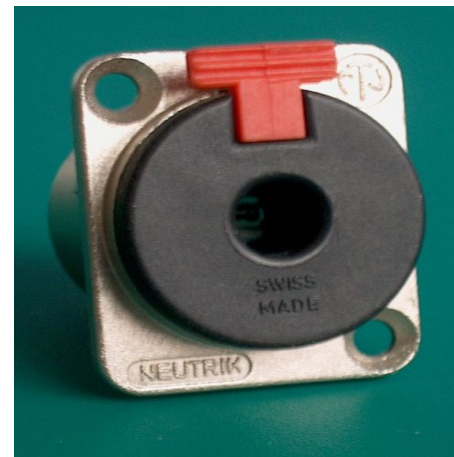
3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

3. Anschlussvarianten

Grundsätzlich findet man heute (noch) 4 verschiedene Typen von Verbindungen zwischen Leistungsverstärkern und Lautsprechern:

1. TRS (Tip/Ring/Sleeve) oder Klinke (Jack plug):

Heute unüblich, in manchen Ländern ist der Einbau in Neugeräte verboten. Warum wohl?



Quelle: Neutrik AG

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

3. Anschlussvarianten

Grundsätzlich findet man heute (noch) 4 verschiedene Typen von Verbindungen zwischen Leistungsverstärkern und Lautsprechern:

2. XLR (Cannon plug): Heute zunehmend unüblich, in manchen Ländern ist der Einbau in Neugeräte verboten.



Quelle: Neutrik AG

Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

3. Anschlussvarianten

Grundsätzlich findet man heute (noch) 4 verschiedene Typen von Verbindungen zwischen Leistungsverstärkern und Lautsprechern:

3. Speakon: Heute Standard in den meisten Systemen. Verbaubar als 2-Pol- (passiv) oder 4-Pol- (controlled) Verbindung. Beide Verbindungen sind äußerlich kaum zu unterscheiden.



Quelle: Neutrik AG

Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

3. Technische Grundlagen zur Verbindung von Leistungsverstärkern und Lautsprechern

3. Anschlussvarianten

Grundsätzlich findet man heute (noch) 4 verschiedene Typen von Verbindungen zwischen Leistungsverstärkern und Lautsprechern:

4. Proprietäre Verbindungen: In manchen Systemen findet man (immer seltener) Spezialverbindungen, die für besondere Funktionen bei Controller-Lautsprecher-Dialogen entwickelt wurden.

Manche dieser Verbindungen haben bis zu 25 Pole (z.B. früher bei d&b).

Beschallung

4. Technische Grundlagen zu Frequenzweichen

Um mit nur einem Inputsignal mehrere Chassis zu betreiben, braucht es eine Möglichkeit, die Frequenzbereiche für die einzelnen Chassis voneinander zu trennen.

Ein 15"-Chassis mit 6cm Hub kann nicht 12kHz sauber übertragen; und man sollte nicht 45Hz mit 1kW an einen 1"-Tweeter geben.

Daher braucht man eine Frequenzweiche, um an jedes Chassis des Lautsprechers das passende Frequenzband mit der passenden Leistung zu bringen.

Generell unterscheiden wir aktive und passive Frequenzweichen. In ihren Funktionsprinzipien unterscheiden sich beide Bauweisen jedoch nicht.

Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

4. Technische Grundlagen zu Frequenzweichen

Die meisten PA-Lautsprecher sind als 3-Wege- oder 2-Wege-Systeme ausgeführt.

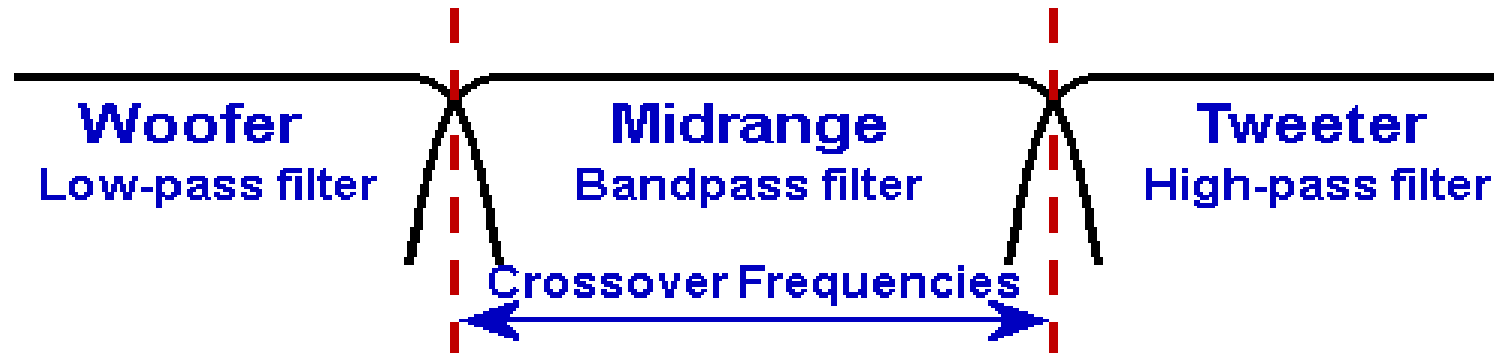
Das bedeutet, in eine Lautsprecherbox (Cabinet) sind 3 oder 2 Chassis für verschiedene Frequenzbänder eingebaut.

In diesem Fall (3-Wege) brauchen wir die Standardschaltung einer 3-Wege-Frequenzweiche, bestehend aus:

- 1. Tiefpassfilter** für den Betrieb des Tieftöners,
- 2. Bandpassfilter** für den Betrieb des Mitteltöners,
- 3. Hochpassfilter** für den Betrieb des Hochtöners (auch „Tweeter“ genannt).

Beschallung

4. Technische Grundlagen zu Frequenzweichen



Generell arbeitet jede Frequenzweiche mit Filtern, die prinzipbedingt frequenzabhängig die Phase verschieben.

Je geringer die Flankensteilheit eines Filters, desto besser ist die Impulsgenauigkeit und desto weniger Phasenverschiebung findet statt, aber desto mehr „falsche“ Frequenzen gelangen zum Chassis.

Nur moderne digitale FIR-Filter können phasenlinear arbeiten, das aber geht einher mit Latenzen, die in manchen Beschallungssituationen von Livequellen inakzeptabel sind.

Beschallung

4. Technische Grundlagen zu Frequenzweichen

3 prinzipielle Konstruktionsweisen von Frequenzweichen gibt es:

Beschallung

4. Technische Grundlagen zu Frequenzweichen

1. Analog passiv: Filter für Signale mit hoher Leistung, bestehend aus Widerständen, Kondensatoren und Spulen.

Diese Frequenzweichen sind typischerweise verbaut in passiven Fullrangelautsprecherboxen. Sie müssen die hohen Leistungen verarbeiten können, die am Ausgang von Endstufen anliegen.

Passive analoge Filter können in der Praxis gebaut werden als Filter erster bis vierter Ordnung (Flankensteilheiten von 6dB/Oktave bis 24dB/Oktave).

Die Bauteile einer analogen passiven Frequenzweiche sind recht groß und schwer, abhängig von der maximalen Last, die sie verarbeiten können.

Beschallung

4. Technische Grundlagen zu Frequenzweichen

2. Analog aktiv: Filter für Signale mit geringer Leistung, bestehend aus Widerständen, Kondensatoren und Operationsverstärkern.

Diese Frequenzweichen werden eingesetzt in analogen Lautsprechercontrollern, oft fest zusammen verbaut mit Leistungsverstärkern.

In diesem Fall arbeiten sie oft in direkter Interaktion mit Verstärker und Lautsprecher, meist mit einer Messleitung (sensewire) zurück zur Frequenzweiche (z.B. Speakon 4-pol).

Analoge aktive Frequenzweichen gibt es auch als Einzelgeräte, die vor oder als inserts in Leistungsverstärker geschaltet werden.

Heutzutage eher selten geworden.

Beschallung

4. Technische Grundlagen zu Frequenzweichen

3. Digital aktiv: Filter für Signale mit geringer Leistung, bestehend aus AD-Wandlern, DSPs und DA-Wandlern.

Diese Frequenzweichen sind verbaut in aktiven Lautsprecher-Systemen und modernen professionellen Controllerendstufen.

Es gibt sie auch als stand-alone-Systeme, mit oder ohne sense-Leitung.

Indem sie jedes Problem auf Rechenoperationen reduzieren, können sie mit Filtern höherer Ordnung, Puffern und Phasenkorrekturen operieren.

Aber: Mindestens 2 Wandlungen, damit einhergehend mögliche Klangverluste. Außerdem treten natürlich Latenzen auf. Bei vielen FIR-Geräten kann man wählen zwischen minimalphasigen (weniger Latenz) und linearphasigen Algorithmen (mehr Latenz).

Ton in Schauspiel, Oper, Ballett - sound, Medientechnik und Kunst

h_da fb media Elective Sommersemester 2019 Sebastian Franke (Staatstheater Darmstadt)

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

Grundsätzlich kann jedes Mischpult für Beschallungsanwendungen eingesetzt werden, aber einige Aspekte sollten berücksichtigt werden, die im täglichen Einsatz hilfreich sind:

1. Flexibilität bei den Eingangskanälen

Bei Aufnahmen kann (und sollte man) meist die Mikrofone und ihre Position so lange ändern, bis der Klang den eigenen Vorstellungen entspricht.

Daher braucht man nicht wirklich (und sollte ihn auch nicht anfassen) einen EQ im Eingangskanal bei der Aufnahme.

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

Grundsätzlich kann jedes Mischpult für Beschallungsanwendungen eingesetzt werden, aber einige Aspekte sollten berücksichtigt werden, die im täglichen Einsatz hilfreich sind:

1. Flexibilität bei den Eingangskanälen

In der Livebeschallung hat man manchmal Zeit, Mikrofone und ihre Positionen zu ändern (meist hat man die nicht), aber man muss sie auch an den Raum unter Beschallung anpassen.

Vor allem aber muss hier die Vermeidung von Maskierungen, also das Aufräumen des Klangbildes, in den Eingangskanälen passieren.

Daher ist hier ein Multiband-EQ in jedem Kanal unverzichtbar.

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

2. Flexibilität in den Ausgangskanälen

Im Aufnahmebetrieb sind Ausgangskanäle zumeist nur dafür da, Signale zum Band zu schicken (oder zur Festplatte, in irgendeine Wolke oder was auch immer.)

Heutzutage ist die Anzahl der Spuren kein Problem mehr, daher geht man fast immer über direct outs, ggf. Schaltbusse. Daher braucht man im Aufnahmebetrieb eigentlich überhaupt keine Signalbearbeitung.

Auch eine Kompression ist an dieser Stelle in Zeiten von Wortbreiten von 24bit und mehr unnötig.

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

2. Flexibilität in den Ausgangskanälen

In der Livebeschallung ist es dringend geraten, individuelle Signalverzögerung (delay), einen Mehrband-EQ und eine komplette Dynamiksektion in jedem einzelnen Ausgangskanal zu haben.

Das ist einerseits eine Frage der Raumanpassung, aber auch eine Zeitfrage:

Oft hat man einfach keine Zeit in einer Livesituation, z.B. Kompressoren in jedem Inputkanal einzeln sorgfältig einzustellen.

Da ist dann der schnelle Buskompressor besser als gar nichts.

Und individuelle Ausgangs-delays sind ein absolutes Muss in der Livebeschallung, wie wir im weiteren Verlauf des Electives noch sehen werden.

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

3. Direkter Zugriff

Wenn man nur wenige Kanäle oder Spuren gleichzeitig aufnimmt, kommt man u.U. auch ganz ohne Mischpult aus.

In diesem Fall reichen ein paar Kanalzüge/Vorstufen, eine Monitorlösung und u.U. noch ein Rücksprecher aus.

Mischen kann man heutzutage auch mit der Maus, wenn man die DAW gar nicht verlassen will, oder man nutzt einen Controller.

Livebeschallung mit einer DAW ist nach wie vor nicht zu empfehlen, zum Einen wegen Latenzproblemen (und Fragen der Betriebssicherheit!), aber auch, weil es unmöglich ist, hier nur mit einer Maus zu arbeiten:

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

3. Direkter Zugriff

Man muss schnell arbeiten, 3 Fader und einen EQ auf einmal bedienen, bei einem EQ gleichzeitig Q-Faktor und gain verändern etc.

Daher ziehen manche (jedoch jedes Jahr weniger) Livebeschallungsingenieure immer noch analoge Mischpulte vor, die einen dezidierten Knopf oder Regler für jede einzelne Funktion in jedem einzelnen Kanal haben.

Die gleichzeitigen Operationen oben sind aber auch mit einem Mischpult mit Zentralbedienfeld/selected channel möglich. Nicht jedoch mit einer Maus-bedienten Software.

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

3. Direkter Zugriff

Heutzutage sind die meisten von uns vertraut mit einem selected-channel-Bereich und schätzen die Flexibilität und nicht zuletzt die kleineren Abmessungen digitaler Mischpulte.

Nichtsdestotrotz sind in den letzten ca. 15 Jahren einige größerformatige Konsolen auf den Markt gekommen, die verschiedene Kombinationen von selected-channel- und Kanalzug-Zugriffsmöglichkeiten implementieren.

Schaut Euch einmal die hochschuleigene mc²-Konsole an und lasst uns bei Gelegenheit diskutieren, welche Möglichkeiten, aber auch Einschränkungen so entstehen.

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

4. Lesen des Blockschaltbildes eines unbekanntem Mischpultes

Wenn man irgendwo auf einem Gastspiel ist und nicht sein eigenes Mischpult vorfindet, sollte man unbedingt in der Lage sein, einige wichtige Informationen dem Blockschaltbild zu entnehmen.

Bedenkt dabei, dass die meisten Verleihfirmen ihren Geräten keine Handbücher mit Blockschaltbildern beilegen, daher sollte man sich diese ggf. im Vorfeld besorgen/herunterladen, sofern man weiß, mit welchem Gerät man arbeiten wird.

Ihr solltet natürlich in der Lage sein, alles bei der Bedienung eines professionellen Mischpultes selbst herauszufinden, aber manchmal dauert es einfach zu lange, manche spezielle Dinge zu knacken.

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

4. Lesen des Blockschaltbildes eines unbekanntem Mischpultes

Wenn der soundcheck beginnt und alle auf der Bühne nur auf Euch wartet, solltet Ihr nicht sagen müssen: „Wartet eine Stunde, ich habe noch nicht verstanden, wo im Signalweg der Insertpunkt liegt!“ Speziell für die Lösung von Signalflussproblemen ist das Vorliegen eines Blockschaltbildes oft besonders hilfreich.

C:\h_da\ss_2017\praesentationen\material\pm5d-circuit-diagram.pdf

Beschallung

5. Beschallungsmischpulte

5. Beschallungspulte und Netzwerktechnik

In den letzten Jahren hat die Netzwerktechnik immer weiteren Einzug in die (Beschallungs-)Mischpulttechnik gehalten. Was zunächst noch erste Versuche mit Audio über Netzwerkleitungen (elektrisch und optisch) mit eigenen, proprietären Protokollen war (Optocore, Cobranet etc.), wurde dann allmählich zu Audio-via-IP und neuen, teilweise quelloffenen, sehr mächtigen Protokollen (Dante, Ravenna etc.).

Hierauf näher einzugehen würde leider den Zeitrahmen dieses Electives vollkommen sprengen.

Jedoch ist es wichtig, sich klar zu machen, dass heute gute Kenntnisse in der Netzwerktechnik für Tonleute in größeren Beschallungssituationen unerlässlich sind.

Beschallung

6. Mikrofonauswahl

Wiederholt noch einmal alles, was Ihr über Mikrofone wisst

Es geht heute nicht mehr wirklich um die Frage, ob man ein gutes Mikrofon hat, sondern, ob man das richtige Mikrofon für die jeweilige Aufgabe hat.

Lasst uns kurz wiederholen, was wir über Polardiagramme, Wandler- und Empfängertypen wissen.

Bedenkt immer die Frequenzabhängigkeit von Richtcharakteristiken!