

Die wesentlichen Elemente der Audio-System-Kette

Die grundsätzlichen Elemente in einer Audio-Kette, deren Eigenschaften und Interaktionen

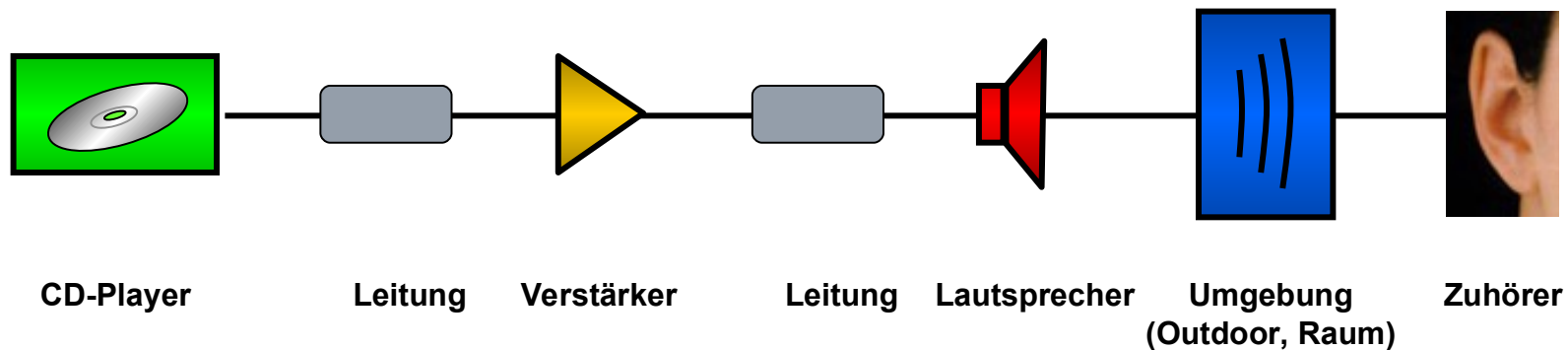
Die Audio-Kette

KOMPONENTEN UND ZWECK

Die Signalwiedergabekette



Typische Situation

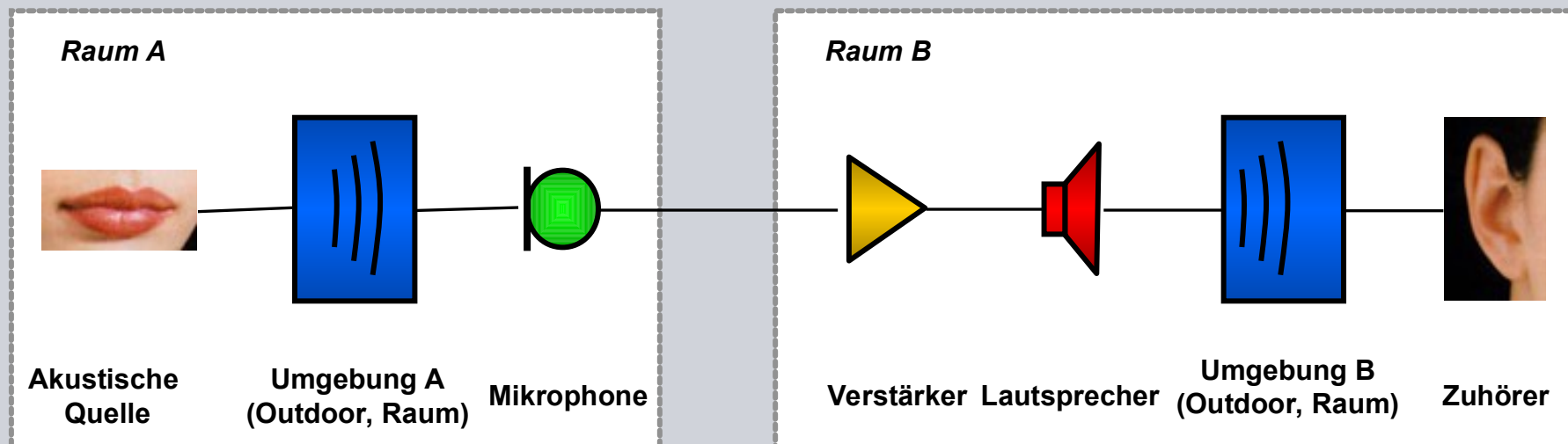


Die Wiedergabekette erhält das Eingangssignal elektrisch von einem Speichermedium (CD). Die maximale Wiedergabestärke hängt maßgeblich vom Verstärker, den Lautsprecher-eigenschaften und der Verkabelung ab.

Die Verständlichkeit hängt nur von der Umgebung wie Raumakustik, Lärm, etc. und natürlich von den Richteigenschaften des Lautsprechers und der Distanz zum Hörer ab.

Verglichen mit anderen Installationen, ist das eine sehr kontrollierte Situation.

Die Ruf- oder Paging-Kette Allgemein



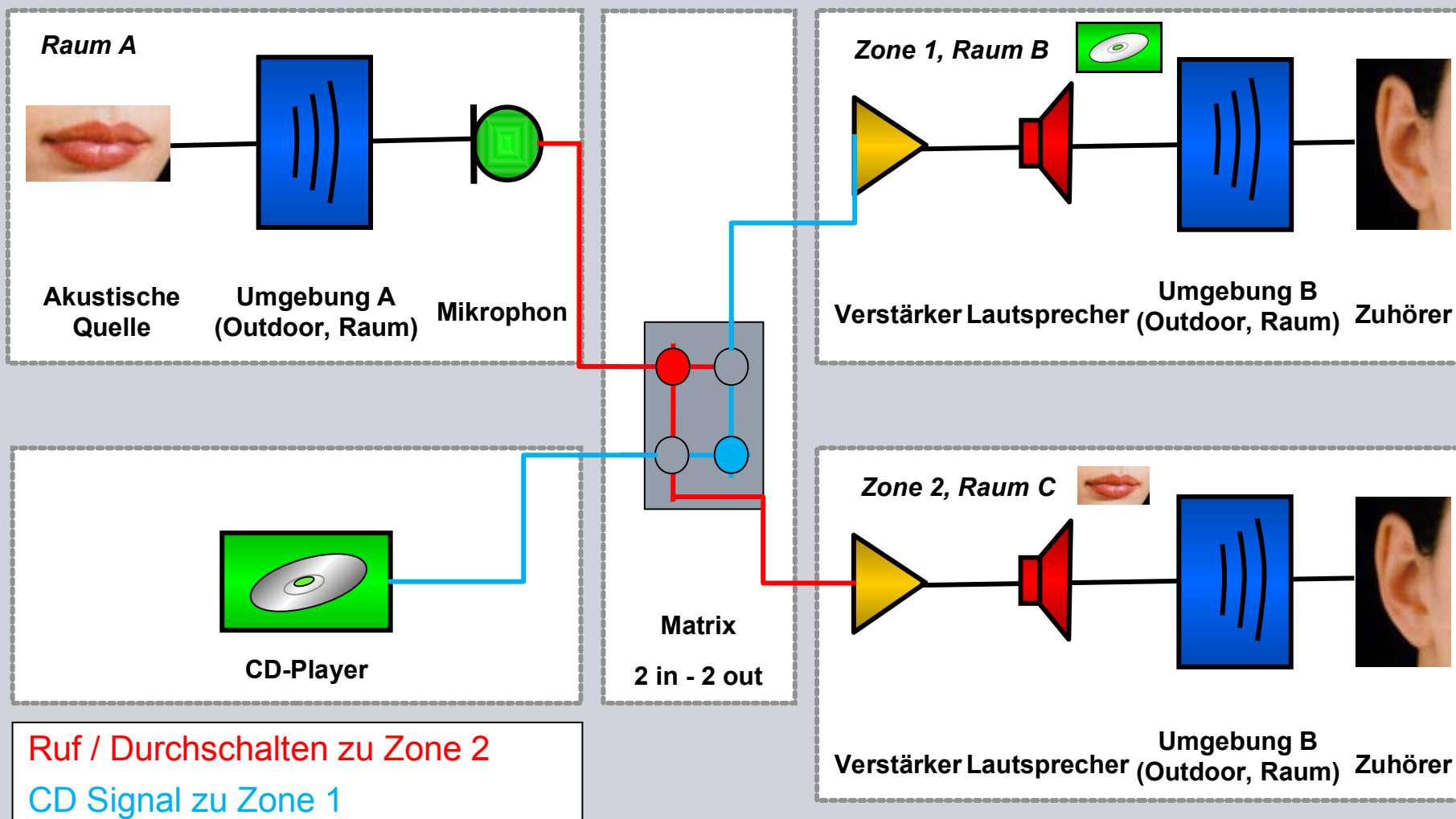
Eine Funkkette erhält einen akustischen Input über ein Mikrophon. Der maximale Signalpegel in Raum B hängt aber trotzdem hauptsächlich vom Verstärker, den Lautsprechereigenschaften und der Verkabelung ab.

Die Verständlichkeit in Raum B aber wird von den Eigenschaften vom Raum A und Raum B (Raumakustik, Lärm), den Richteigenschaften des Lautsprechers und Mikrophons, sowie vom Abstand vom Sprecher und Zuhörer von Mikrophone bzw. Lautsprecher abhängen.

Verglichen zur Reproduktionskette ist dies keine kontrollierte Situation

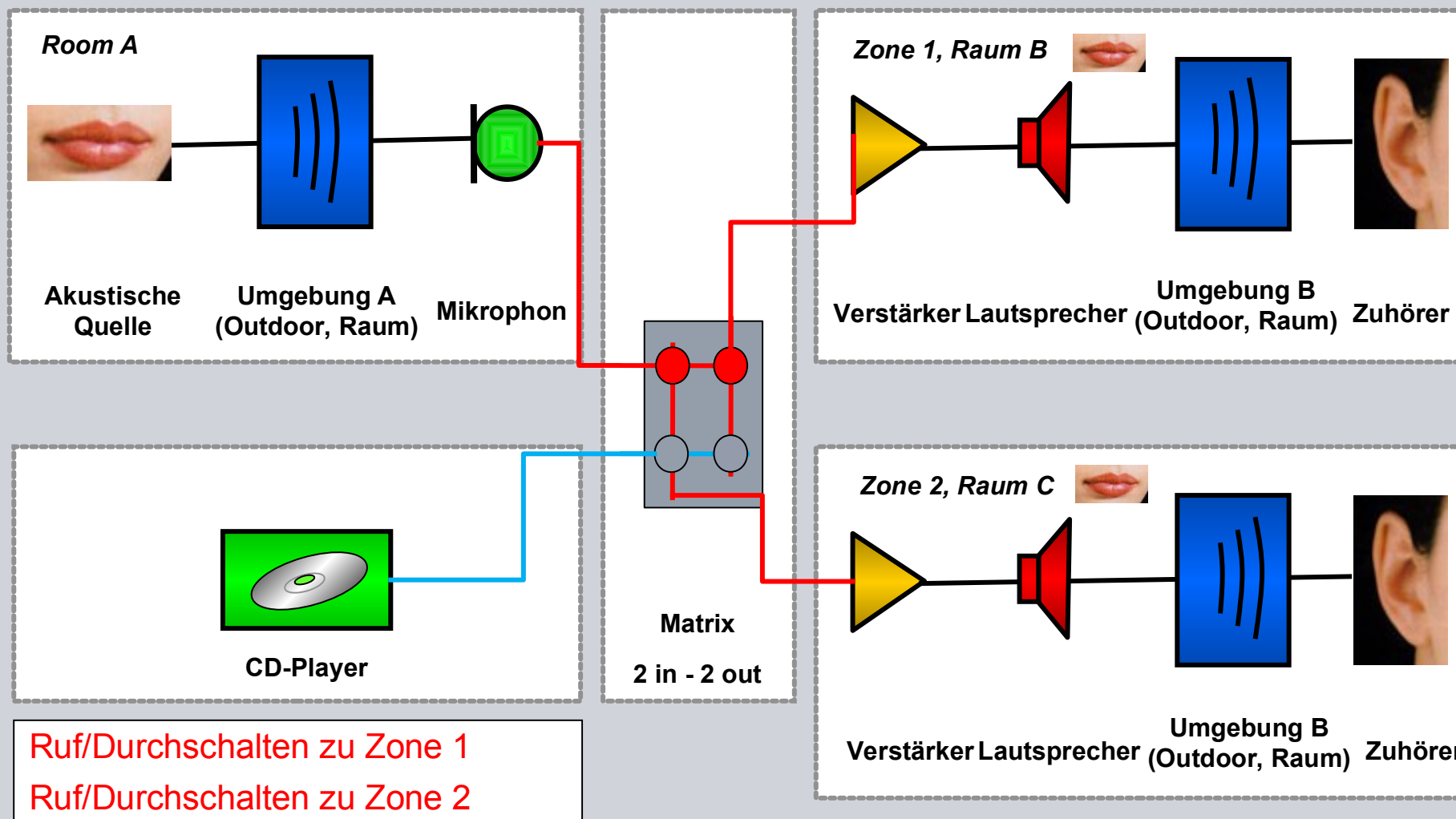
Die Ruf-Kette

Typische Situation mit 2 Zonen



Die Ruf-Kette

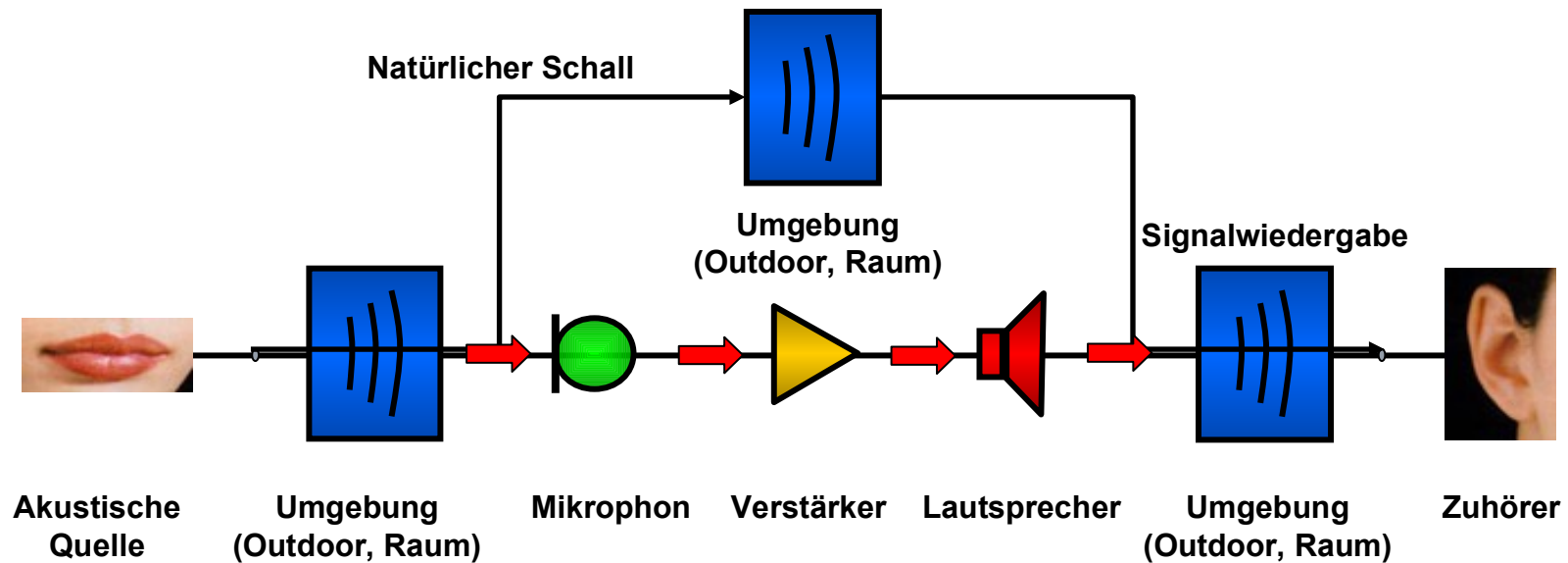
Typische Situation mit 2 Zonen (Fortsetzung)



Die Live-Wiedergabe



Typisches Wiedergabesystem

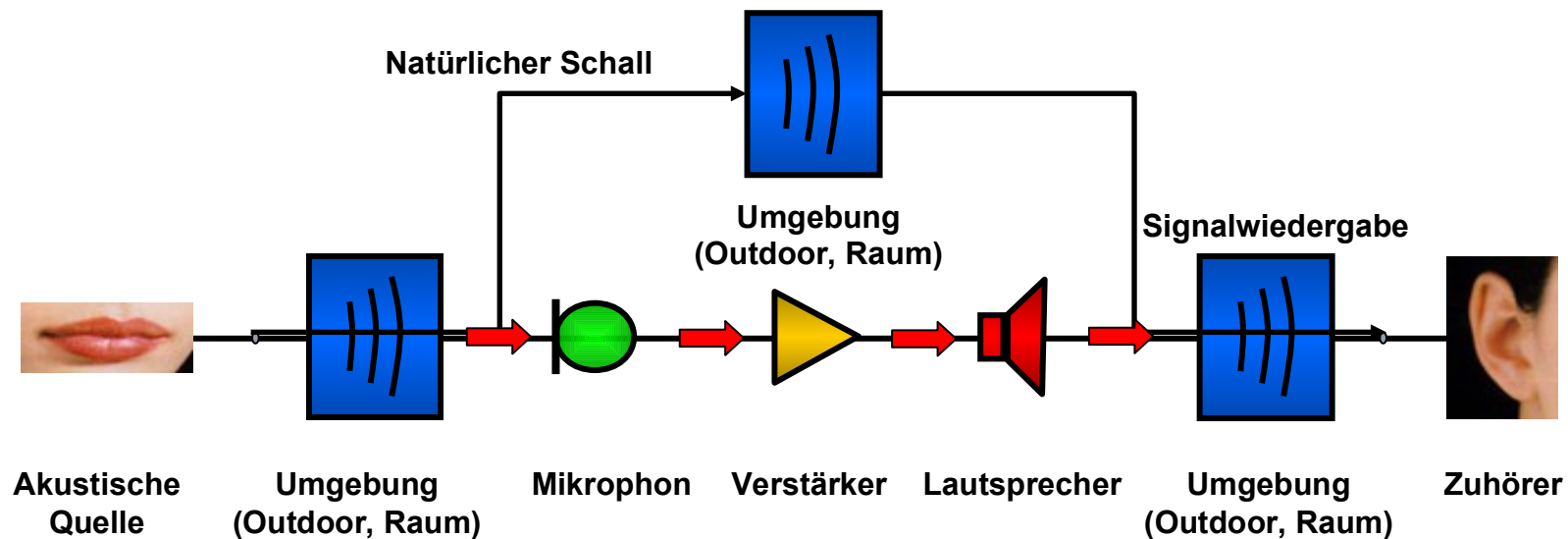


Da der natürliche Schall nicht genügt, nimmt ein Mikrophon in der gleichen Umgebung in der sich der Zuhörer befindet, das Signal des Sprechers auf und via einer Verstärker- / Lautsprecherkette wird das Signal entsprechend verstärkt, damit der Zuhörer ein Signal empfängt.

Die Live-Wiedergabe



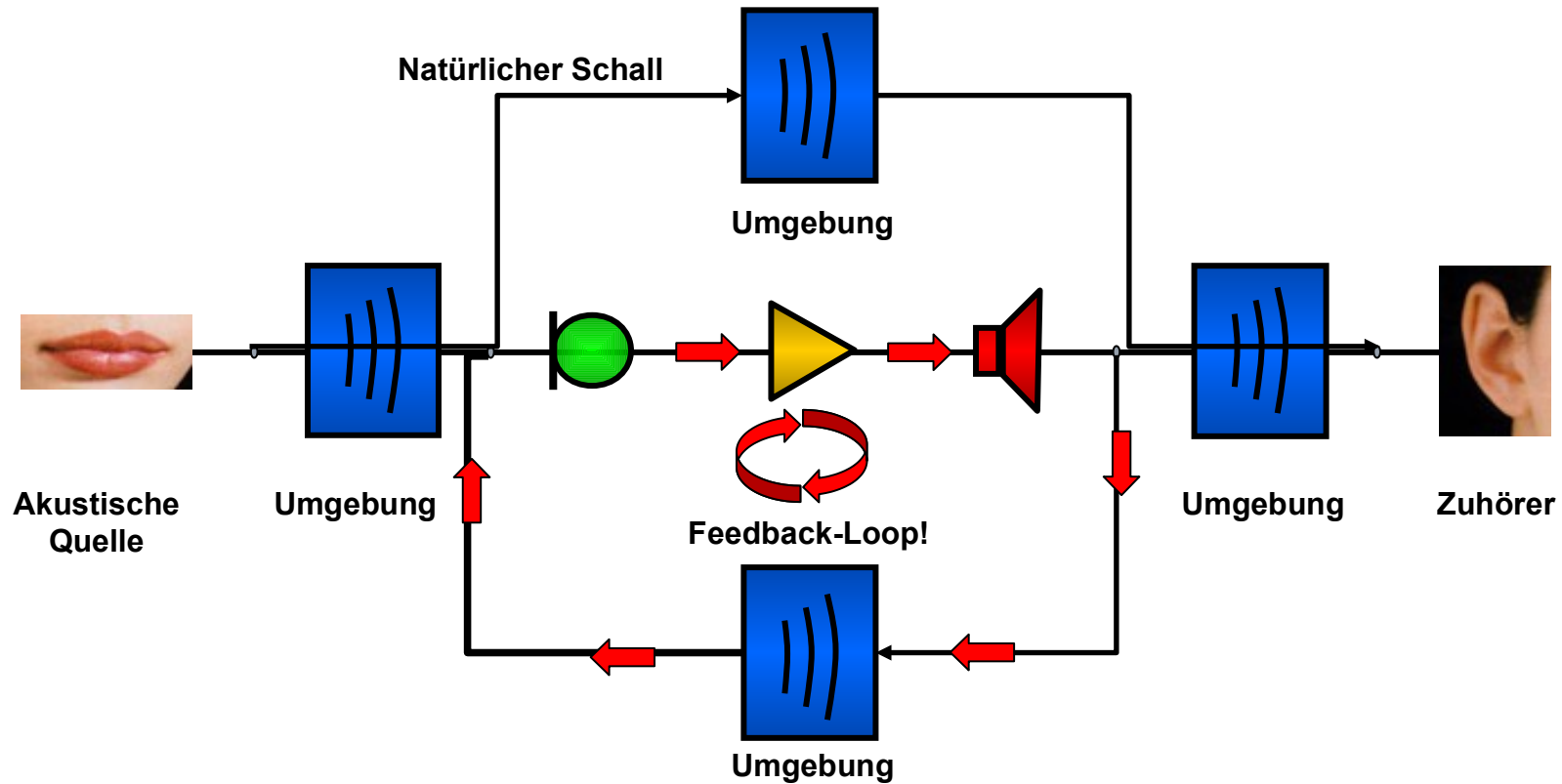
Typisches Wiedergabesystem



Diese Wiedergabekette erhält das Eingangssignal akustisch von einem Mikrofon. Die Verständlichkeit wird von der Umgebung, des Richtfaktors von Lautsprecher und Mikrofon und der Abstände von Zuhörer und Sprecher von Lautsprechern bzw. Mikrofon abhängen.

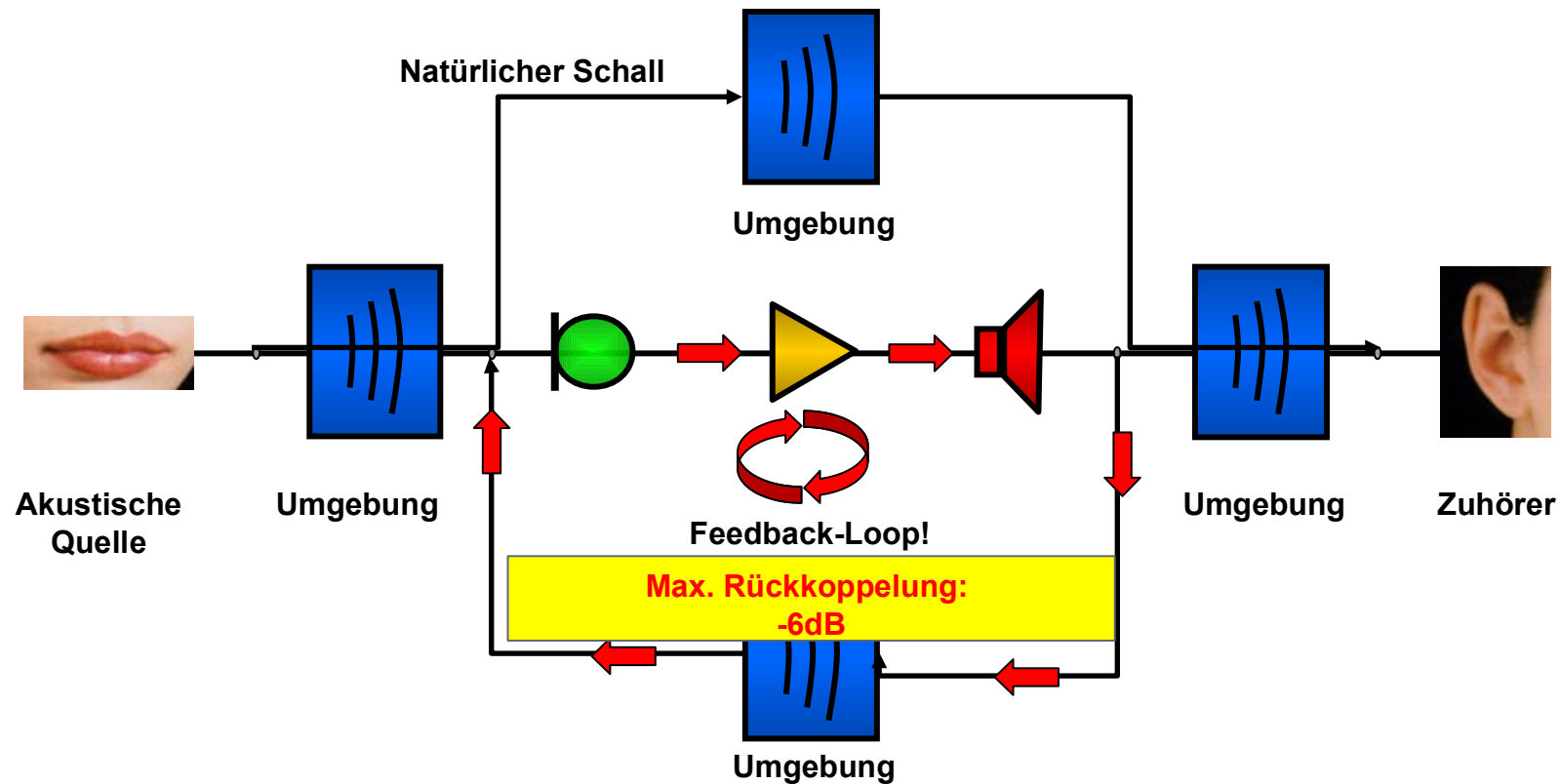
Der maximale Signalpegel wird nicht nur von Verstärker, Lautsprecher und Verkabelungseigenschaften abhängen.

Die Live-Wiedergabe



Der verstärkte Schall vom Lautsprecher wird über die Umgebung in das Mikrofon zurückgeführt und definiert einen Feedback-Loop. Abhängig von der Verstärkung wird diese Rückkopplung «ewig» andauern

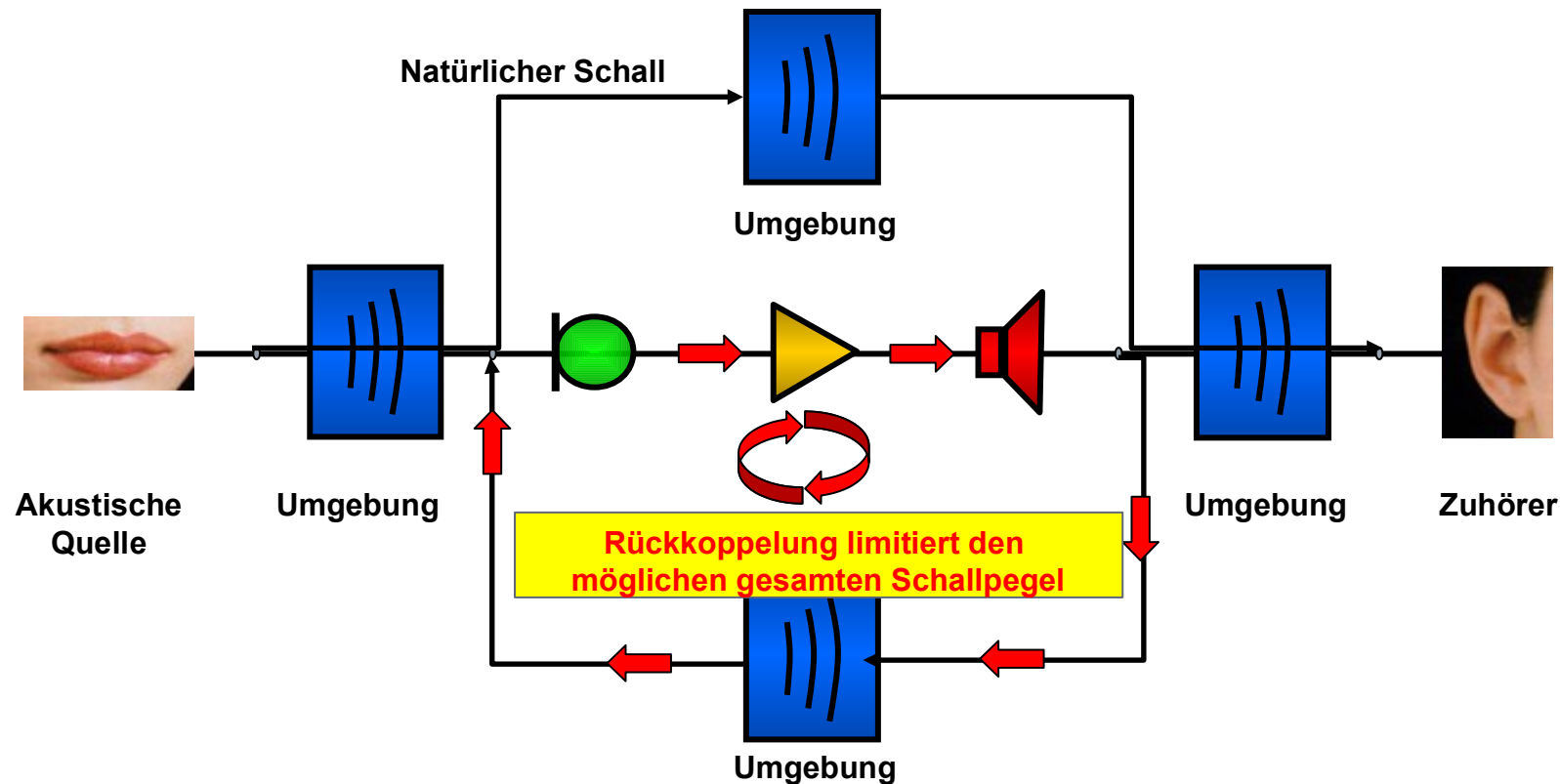
Die Live-Wiedergabe



Um das System stabil zu halten, muss sichergestellt werden, dass das nach der ersten Runde zurückgeworfene Signal, am Mikrophone einen tieferen Pegel als das Originalsignal hat.

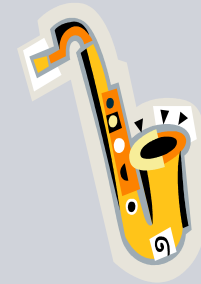
Normalerweise ist der notwendige Abstand ca. -5 dB bis -6 dB

Die Live-Wiedergabe



Die Rückkoppelung ist ein immanenter Effekt von allen Live-Wiedergaben und limitiert den möglichen Pegel des Ausgangssignal.

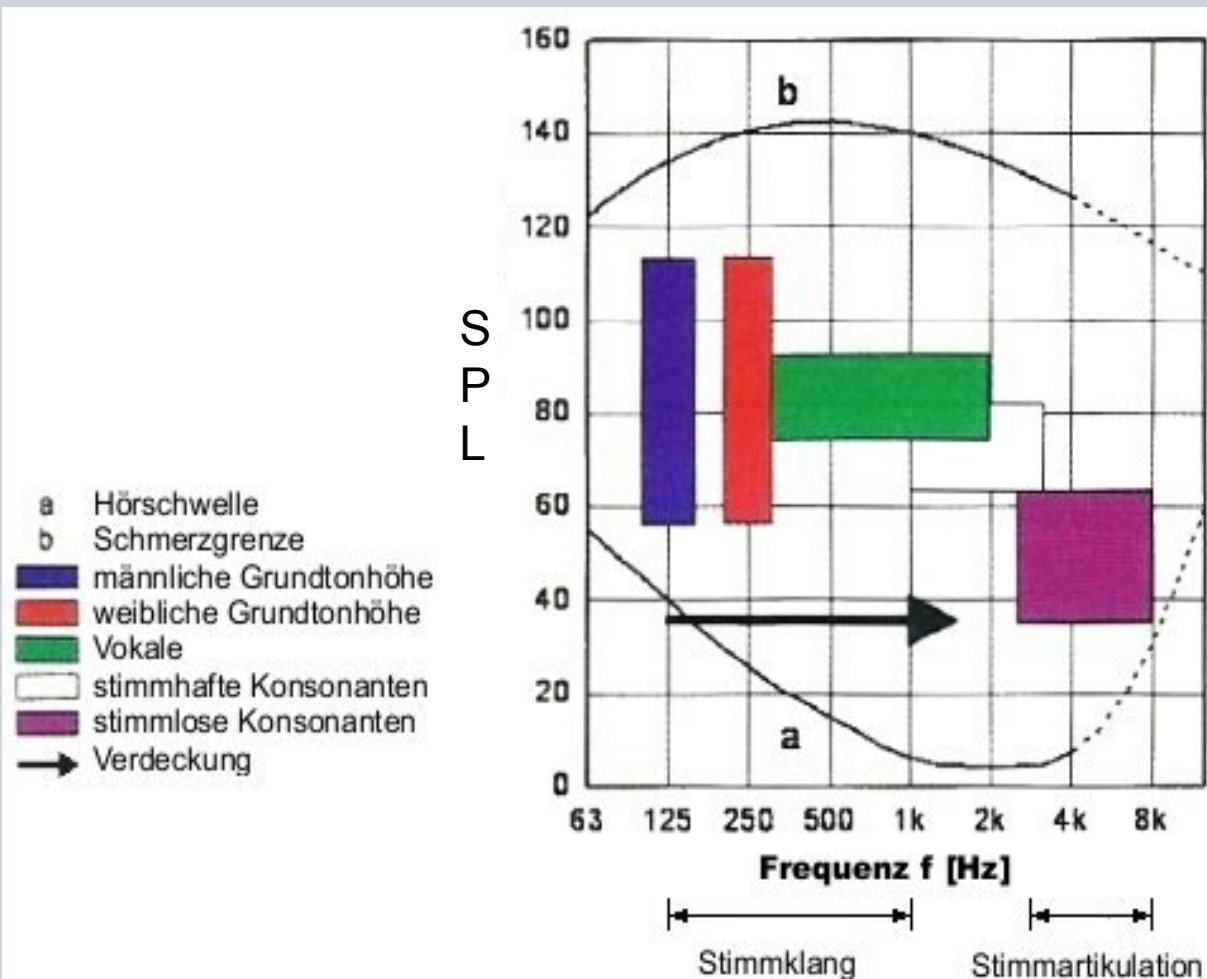
Konsequenz: die Lautstärke kann manchmal nicht genügend erhöht werden, um die Hintergrundgeräusche bzw. Lärm zu übertönen. Damit ist die Verständlichkeit reduziert. Die Anlage wird instabil!



Die Audio-Kette

AKUSTISCHE QUELLEN

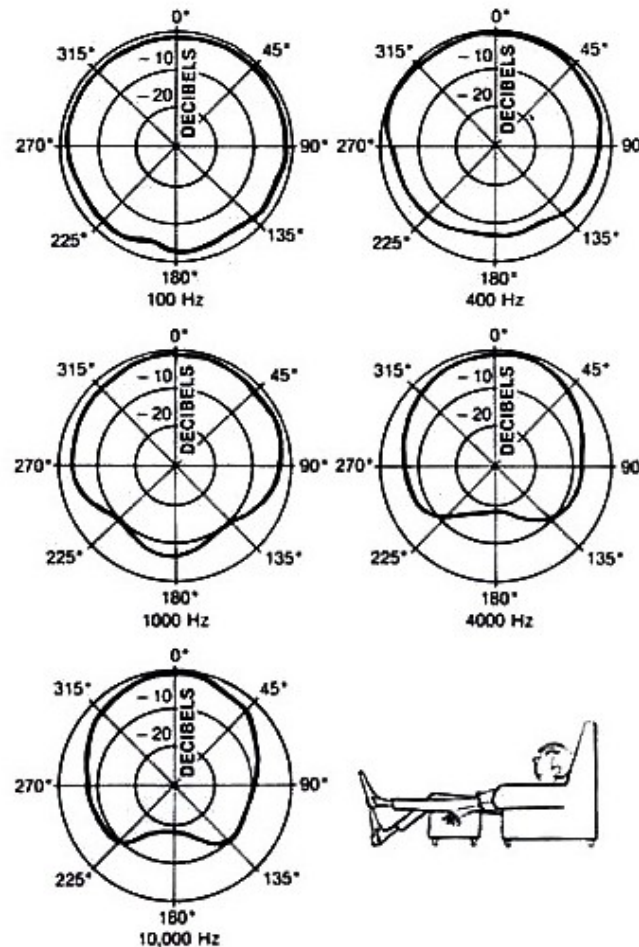
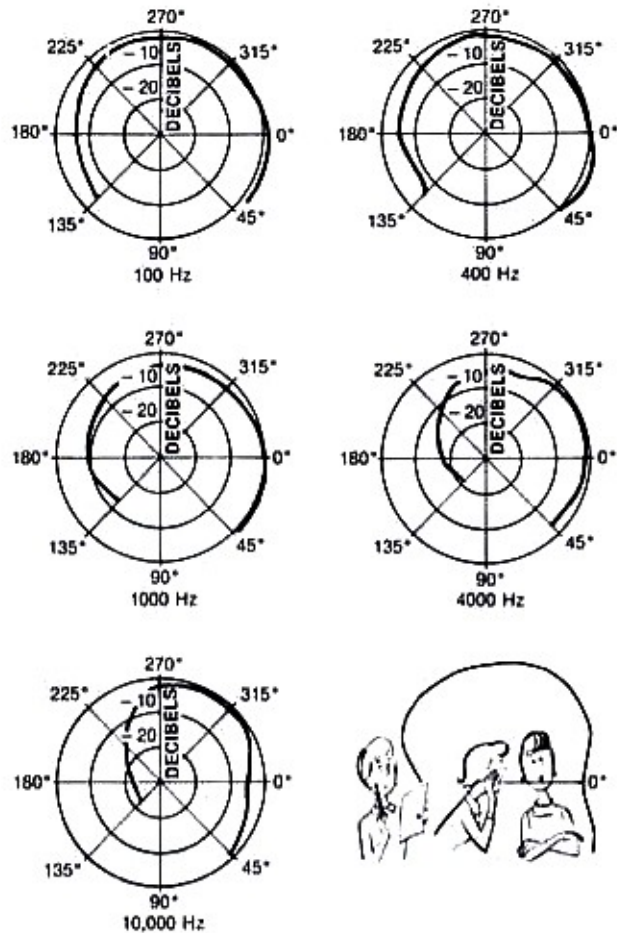
Pegel und Frequenzbereiche von Sprache



Um Sprache zu übertragen bzw. zu reproduzieren, müssen normalerweise der Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 kHz und der Pegelbereich von 40 dB_{SPL} bis 110 dB_{SPL} abgedeckt werden.

Für die Sprachalarmierung ist die Verständlichkeit ein absolutes Muss. Der minimale Frequenzbereich für ein SAA-System geht vom 250 Hz bis zum 4 kHz Oktavband.

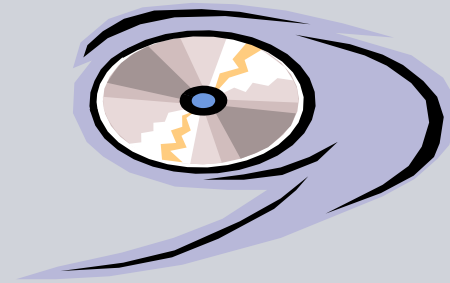
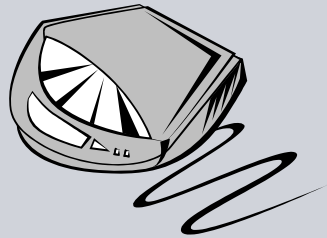
Der menschliche Richtfaktor



Menschen sind akustische Quellen und haben ein Richtfaktor-Muster wie im Bild zu sehen.

Bei höherer Frequenz wird die menschliche Akustikquelle sehr gerichtet.

Deshalb ist die Position vom Mikrophon absolut "Key"



Die Audio-Kette

ELEKTRISCHE QUELLEN

Pegel, Frequenzbereich, Anschlüsse

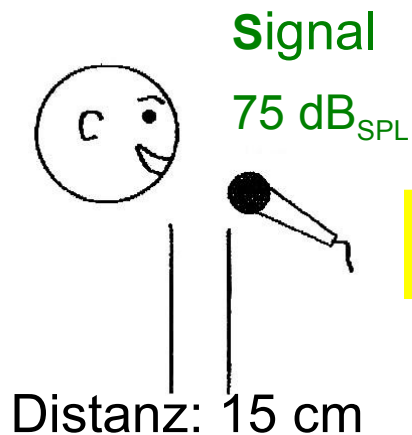


Wichtige Eigenschaften:

- Ausgangsleistung (Spannung): Kompatibel mit den Systemeingängen
- Frequenzbereich: Erzeugung einer ausreichenden Frequenzantwort
- S/N Abstand: Erzeugung eines klaren Signales
- Anschlüsse: Kompatibel mit den Systemeingängen
- Speicherkapazität: man muss wissen, wie viel man speichern will und kann (z.B. Texte)



Abstand zum Mikrophon und das S/N Verhalten



S/N = 25 dB

Lärm (N)
50 dB_{SPL}



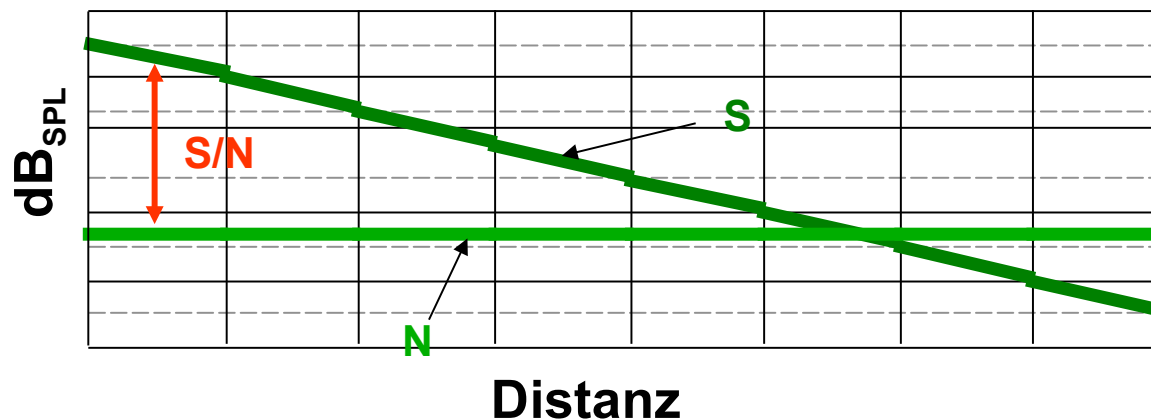
Am Mikrophon sollte ein hinreichender S/N Abstand von z.B. 25 dB vorhanden sein.

Ist der S/N zu klein, wird bereits beim Empfang des Signals die Verständlichkeit ruiniert.

Dies kann nachträglich nicht mehr korrigiert werden, da jeweils S und N mit dem gleichen Faktor verstärkt werden.

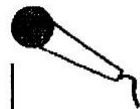
D.h. der anfängliche S/N wird durch das gesamte System verteilt.

“Shit in → Shit out”



Abstand zum Mikrophon und das S/N Verhalten

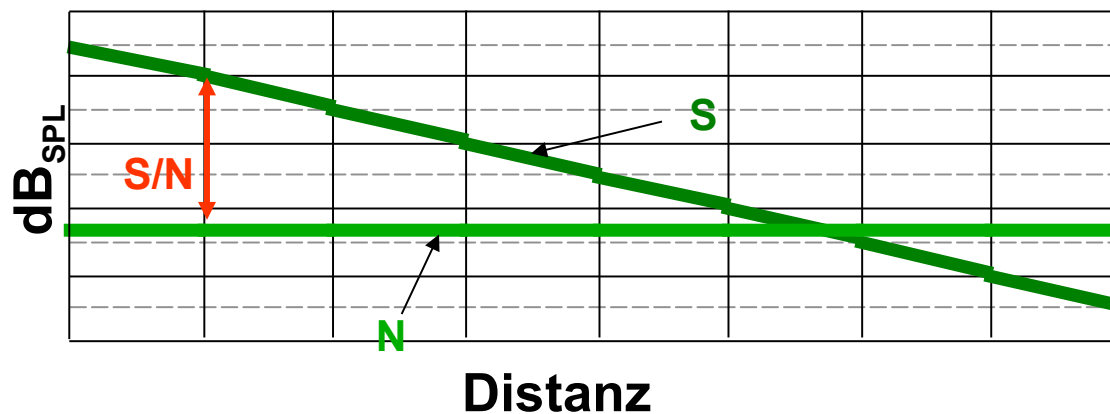
Signal
69 dB SPL



Distanz 30 cm

Lärm (N)
50 dB SPL

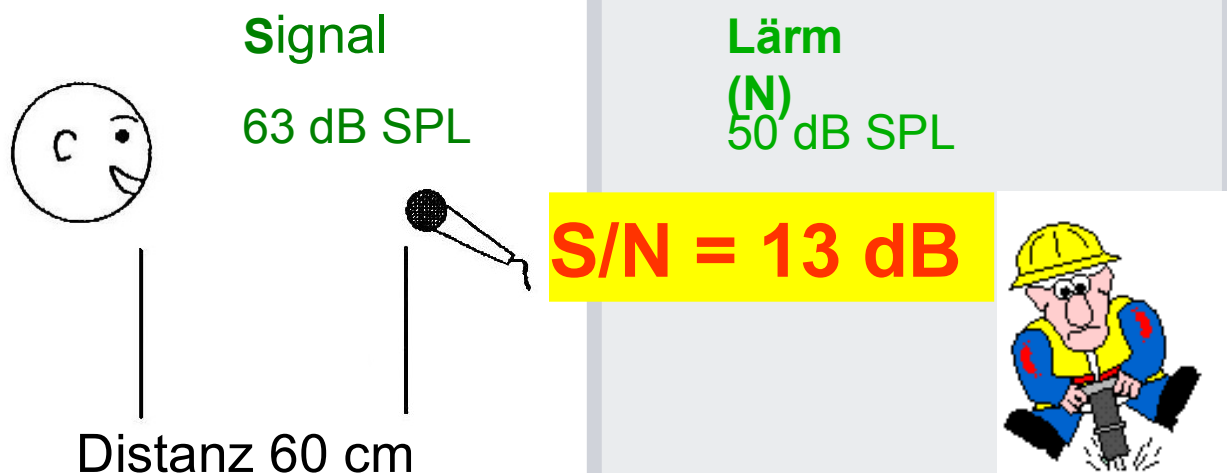
S/N = 19 dB



In diesem Beispiel kann betrachtet werden, wie der S/N Abstand sich von 25 auf 19 dB reduziert.

Grund: Verdoppelung des Abstandes ergibt -6dB...

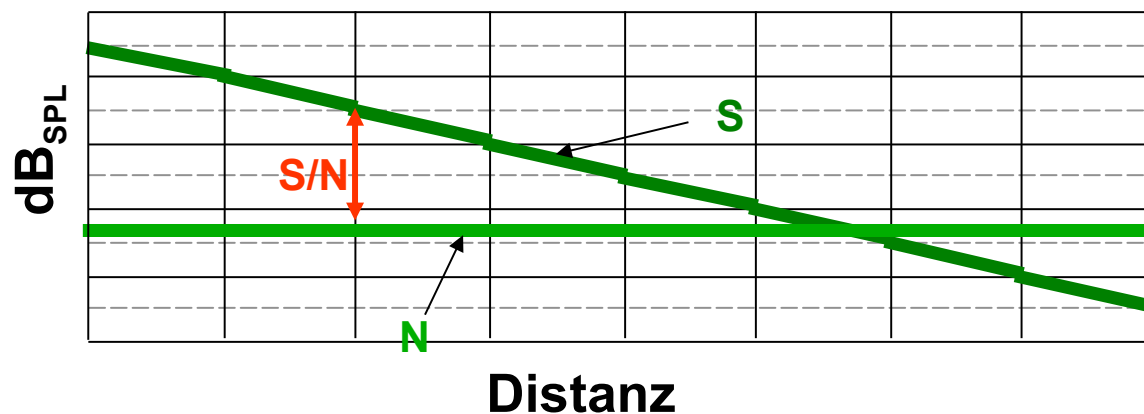
Abstand zum Mikrophon und das S/N Verhalten



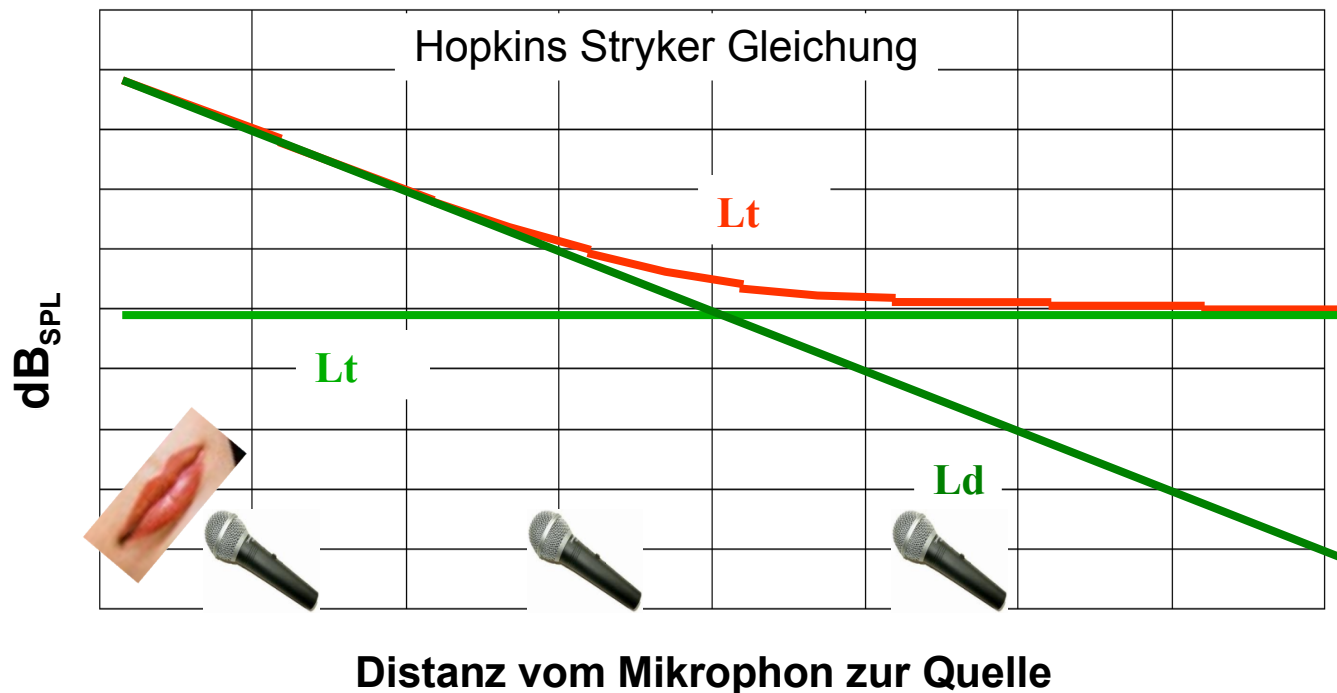
Und es wird sich um weitere 6 dB reduzieren...

Grund:

die Distanz hat sich wiederum verdoppelt...



Abstand zum Mikrophone und das Verhältnis von direktem und Nachhall-Schall (D/R)



Je näher das Mikrophon zur Quelle, desto höher der D/R Abstand am Eingang der Audio-Kette, desto besser das Signal.

Achtung: der S/N Abstand ist ebenfalls besser je näher die Quelle an dem Mikrophon ist. Kurze Abstände geben die beste Verständlichkeit!

Am Mikrophon sollte ein hinreichender D/R Abstand von $>>25$ dB vorhanden sein.

Ist der D/R zu klein, wird bereits beim Empfang des Signals die Verständlichkeit ruiniert.

Dies kann nachträglich nicht mehr korrigiert werden, da jeweils D und R mit dem gleichen Faktor verstärkt werden.

D.h. der anfängliche D/R wird durch das gesamte System verteilt.

“Shit in \rightarrow Shit out”

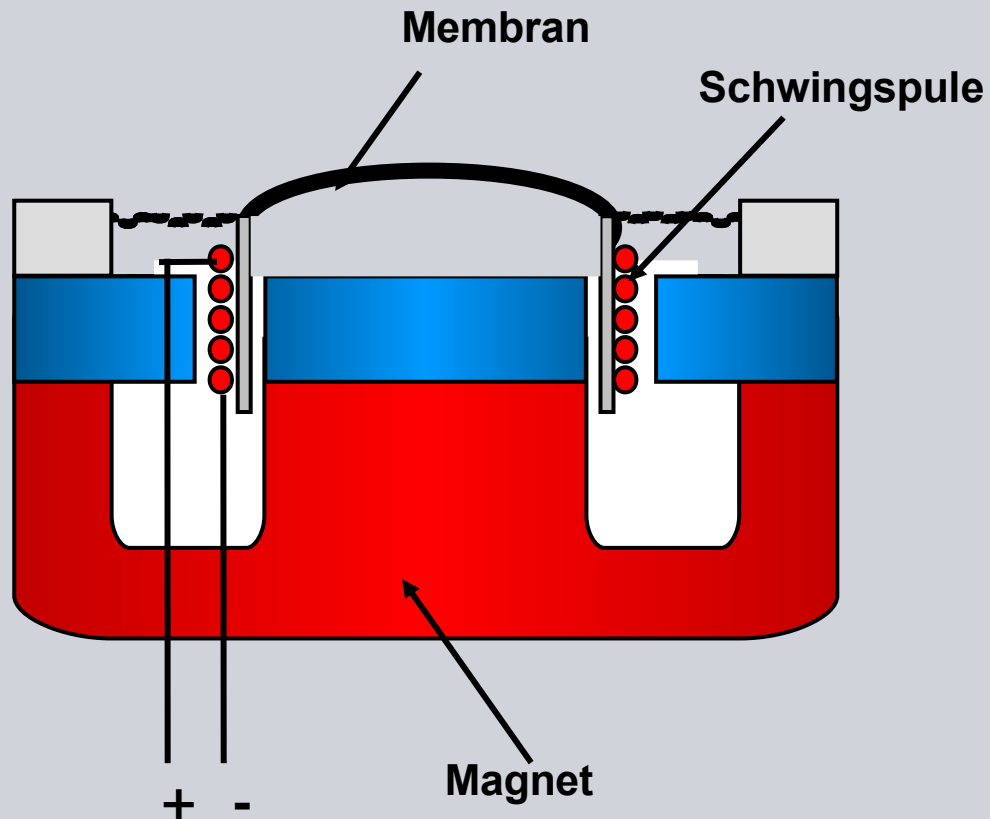


Die Audio-Kette

Mikrophone, Sprechstellen

Das dynamische Mikrofon, Grundlagen

Beispiel: das Tauchspulenmikrofon



Der Schalldruck bewegt die Membran welche mit einer Schwingspule in einem magnetischen Feld verbunden ist.

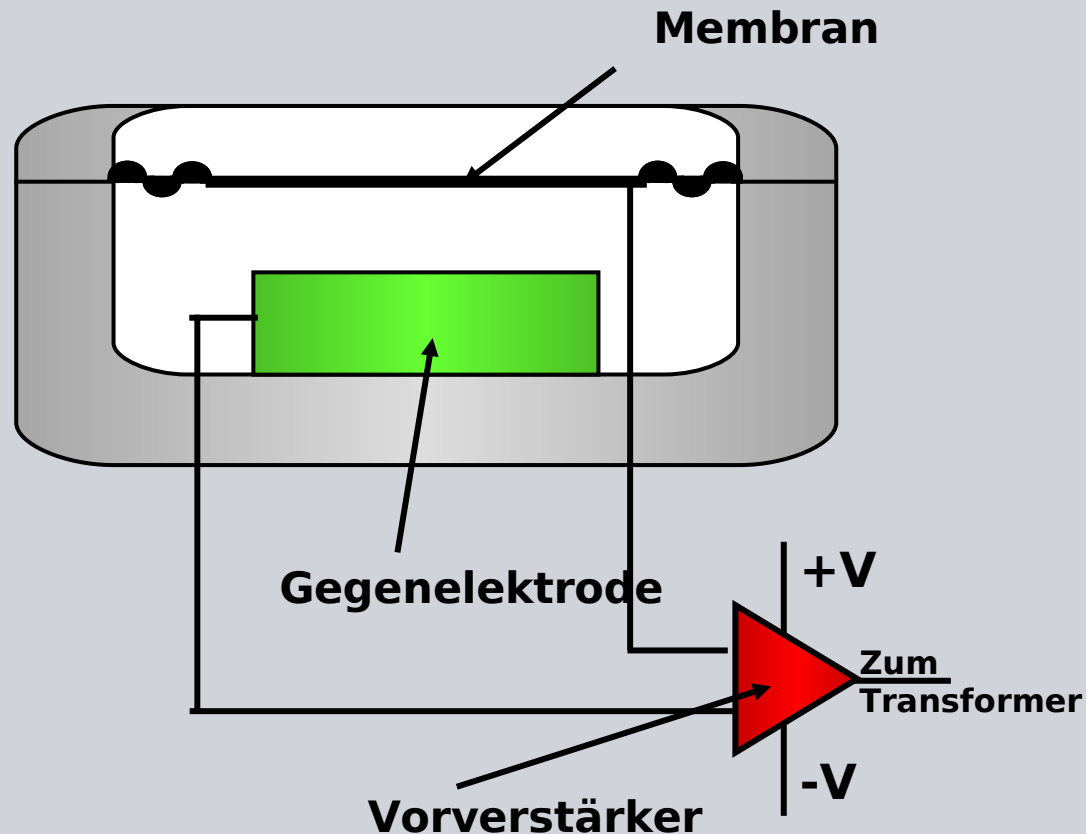
Die induzierte Spannung an der Schwingspule wird proportional zu den Membranschwingungen und dementsprechend proportional zum Wechsel des Schalldrucks sein.

Für dieses Mikrofon wird keine zusätzliche Energiequelle benötigt, es ist sehr robust und produziert einen symmetrischen niederohmigen Ausgang.

Die Überwachung von solchen Mikrofonen kann mittels Impedanz Messung erreicht werden.

Kondensator- oder elektrostatische Mikrophone

Grundlagen



Der Schalldruck bewegt die Membran, welche mit der Gegenelektrode einen Kondensator darstellt.

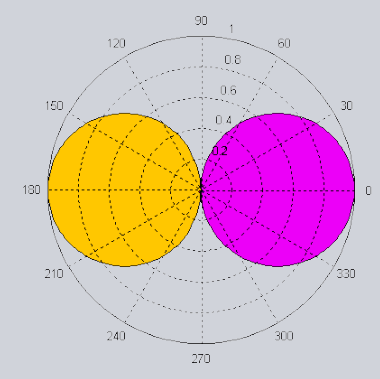
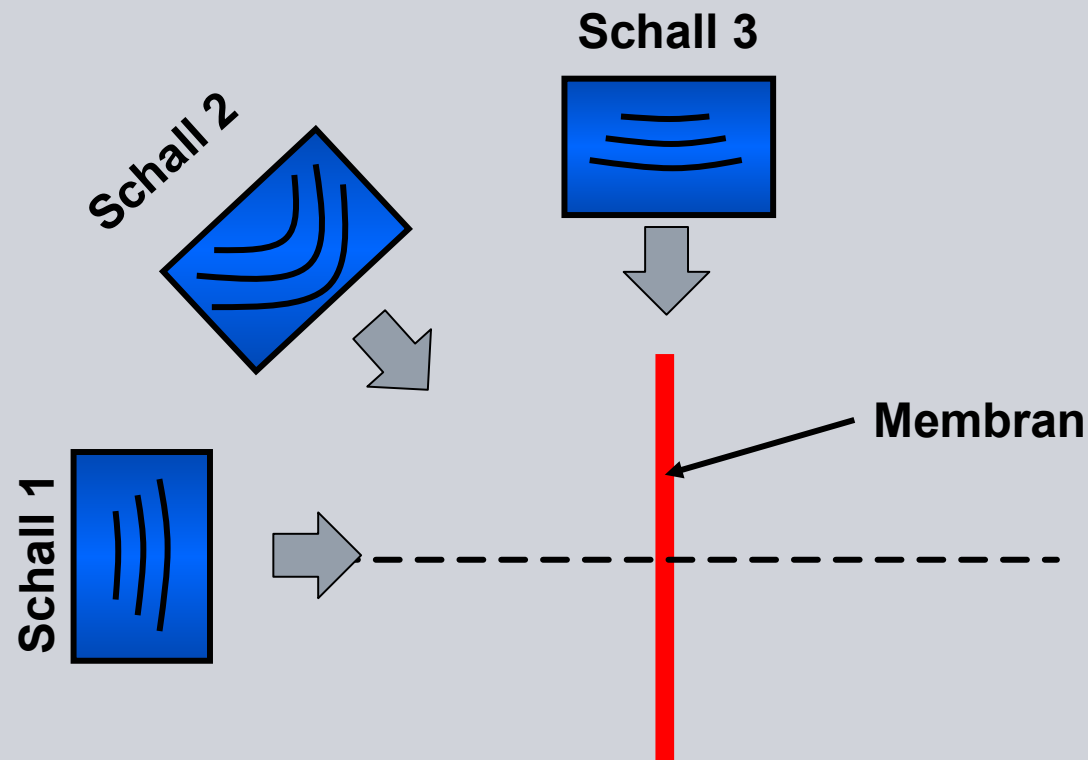
Die Kapazität verändert sich proportional zur Bewegung der Membran und dementsprechend zur Veränderung des Schalldruckes.

Kondensatormikrophone benötigen eine externe Spannungsversorgung um den Kondensator zu laden und erzeugen einen unsymmetrischen hochohmigen Ausgang.

Ein Vorverstärker sowie ein Transformer sind nötig, um ein symmetrisches, niederohmiges Signal zu erzeugen.

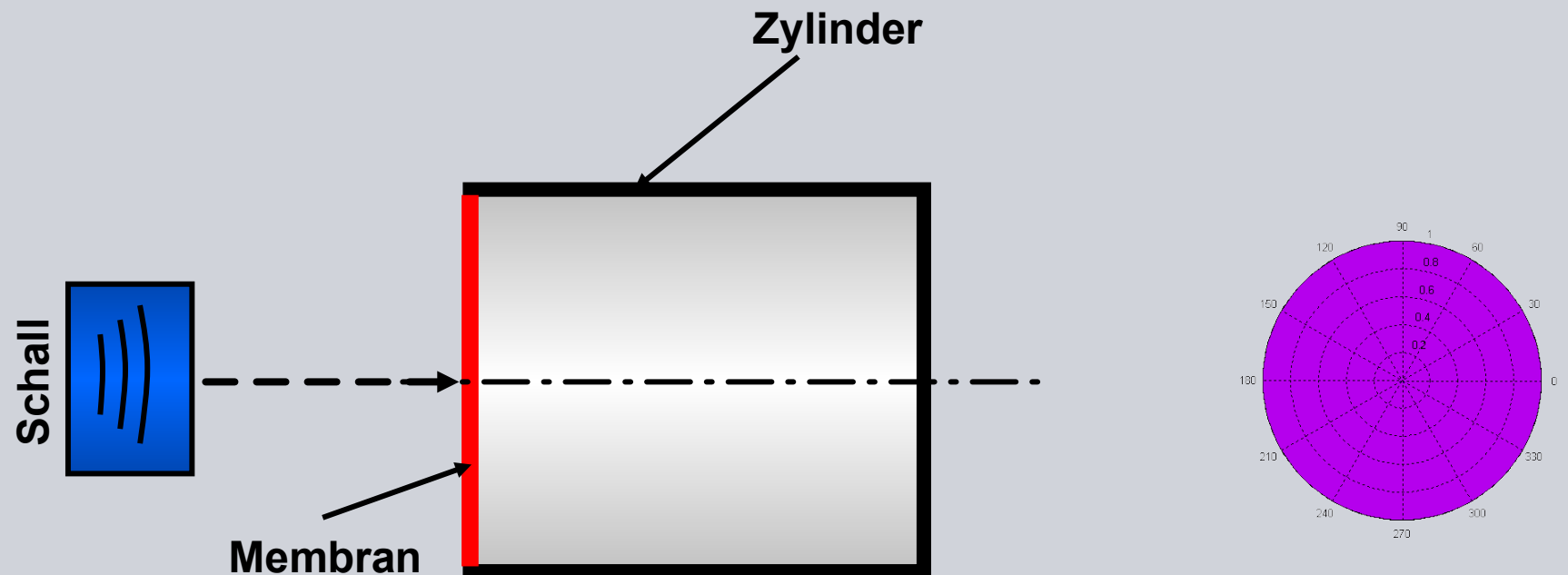
Überwachung von solchen Mikrophenen können durch Messung der Leistung (Stromstärke) des Vorverstärkers (nicht 100% akkurat) sowie mittels akustischen Test erreicht werden.

Aufbau und Gestaltung von Mikrofonen (I)



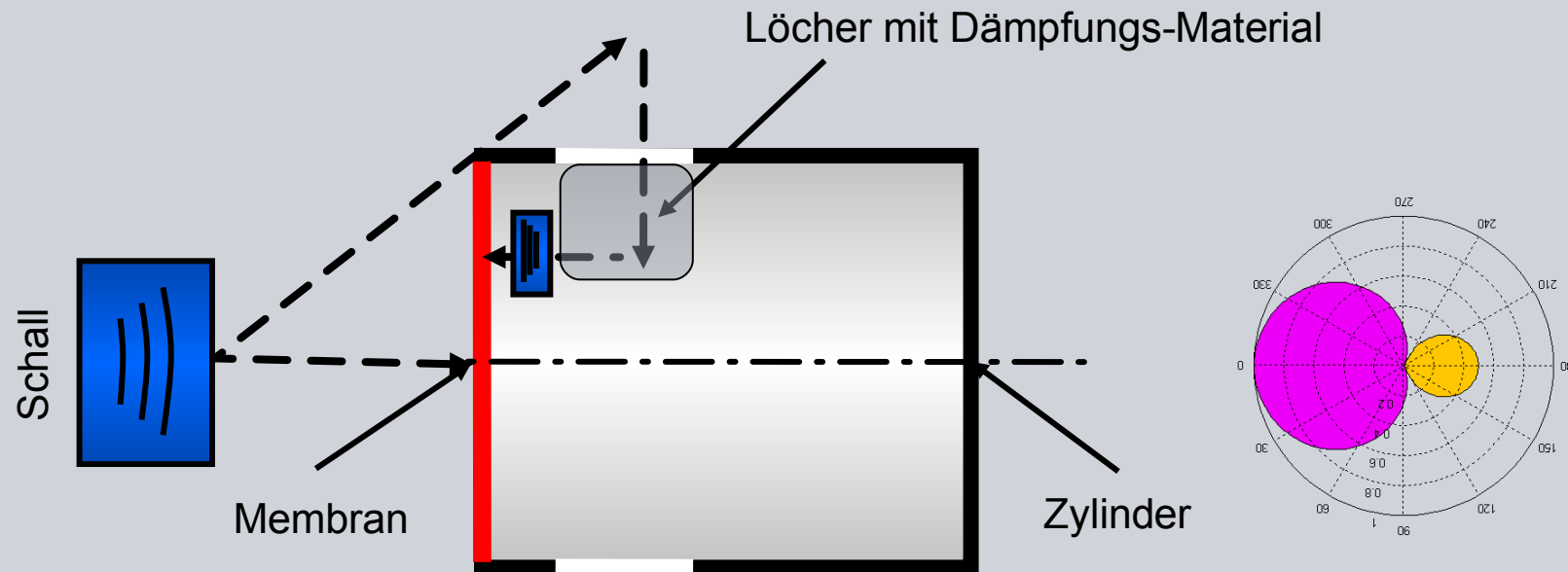
Dieser Aufbau verwandelt Schalldruckwechsel in Spannung. Die Membran hängt frei in der Luft und hat eine Richtcharakteristik erster Ordnung in der Form einer 8 und wird bi-polar genannt

Aufbau und Gestaltung von Mikrofonen (II)



Dieser Mikrophonaufbau verwandelt Druck zu Spannung. Der Zylinder ist dicht. Dieses Mikrofon wird eine kugelförmige, omnidirektionale Richtcharakteristik vorweisen.

Aufbau und Gestaltung von Mikrofonen (III)

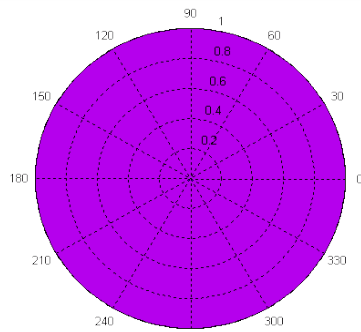


Dieser Aufbau verwandelt Schalldruckwechsel außerhalb und innerhalb des Zylinders, also von vorne und hinter der Membrane in Spannung. Im Zylinder gibt es z.B. Löcher, gefüllt mit Dämpfungsmaterial um den Schallpegel lediglich zu reduzieren.

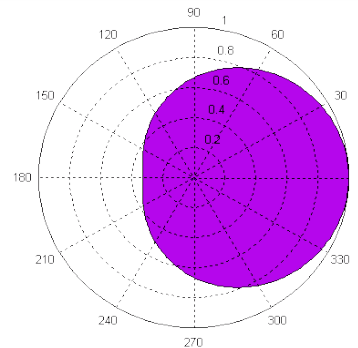
Je nach Anwendungsbereich werden damit die Druckempfänger auf einen linearen Verlauf der jeweiligen Übertragungsfaktoren, wie z.B. Freifeld-, Diffusfeld-, Druck-, Nahbesprechungs-Übertragungsfaktoren, optimiert und eingestellt.

Dieses Mikrophon hat ein uni-direktionales Richtschema und wird xxx-kardioid genannt.

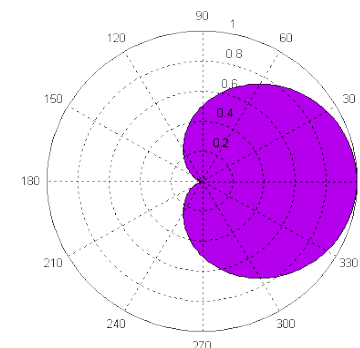
Richtfaktoren von Mikrofonen



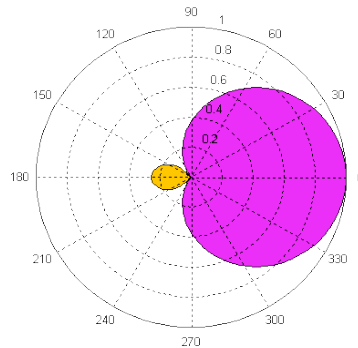
Omni-Direktional
Kugel



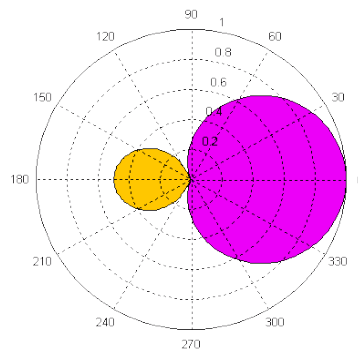
Grosser Kardioid
Breite Niere



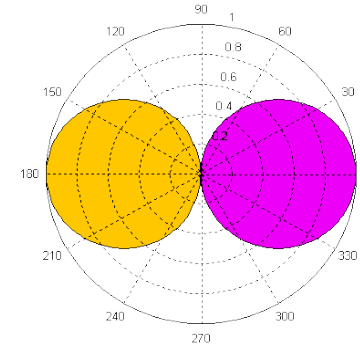
Kardioid
Niere



Super-Kardioid
Superniere

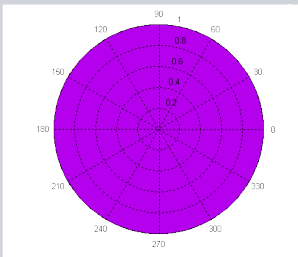


Hyper-Kardioid
Hyperniere

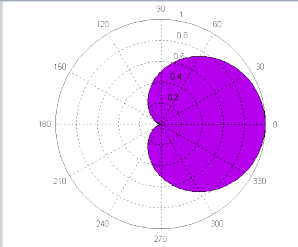


Bipolar (8)
Acht

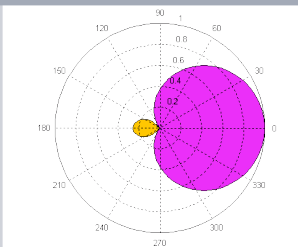
Übersicht über die Richtfaktoren von Mikropohnen



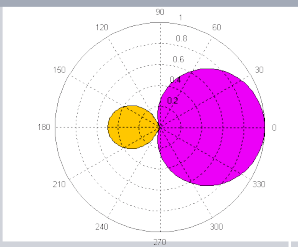
Kugel
 $Q = 1$, $DI = 0$ dB
 $\sqrt{Q} = 1$, keine Dämpfung



Niere
 $Q = 3.0$, $DI = 4.8$ dB
 $\sqrt{Q} = 1.7$, max. Dämpfung @ 180°

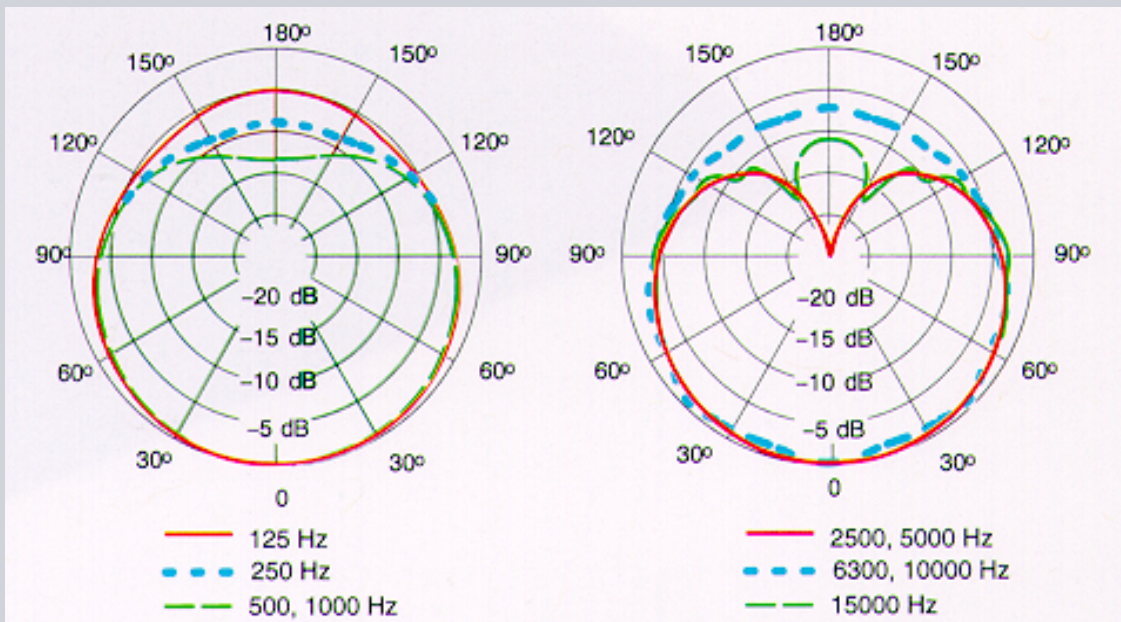


Super-Niere
 $Q = 3.7$, $DI = 5.8$ dB
 $\sqrt{Q} = 1.9$, max. Dämpfung @ 126°



Hyper-Niere
 $Q = 4.0$, $DI = 6.0$ dB
 $\sqrt{Q} = 2.0$, max. Dämpfung @ 110°

Richtfaktoren von Mikrofonen unter Berücksichtigung des Frequenzganges



Dieses sind typische Aufnahmen eines Mikrofons mit nierenförmiger Richtcharakteristik für verschiedene Frequenzbänder.

Schön ist zu sehen, wie sich die Richtcharakteristik mit den Frequenzen verändert.

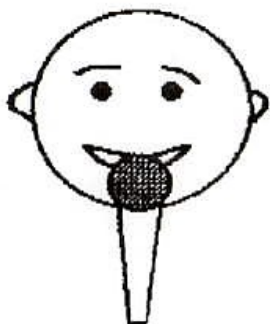
Man kann das selber erfahren, indem man Signale/Schall von verschiedenen Winkeln in das Mikrophon einspeist.

Verglichen mit einer kugelförmigen Richtcharakteristik, werden direktionale Mikrophone dazu verwendet, um vor allem den Schall der Quelle zu erfassen und die Umgebungsgeräusche und den diffusen Nachhall auszufiltern. Dies führt zu einem besseren S/N und D/R Verhältnis. Darum müssen solche Mikrophone immer zur Quelle hin gerichtet sein.

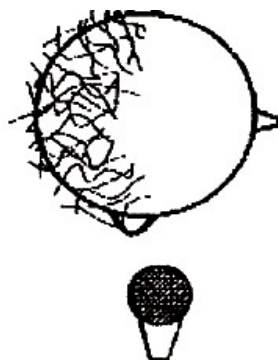
Der Effekt entspricht dem der Distanzreduzierung von Quelle zum Mikrophon bei kugelförmiger Richtcharakteristik.

In Audio-Systemen, wo Rückkoppelung ein Problem ist, müssen solche direktionale Mikrophone eingesetzt werden.

Trivial aber immer wieder ein Thema Wie hält man ein Mikrofon



richtig



falsch

Auch wenn es sehr trivial klingt und ist:

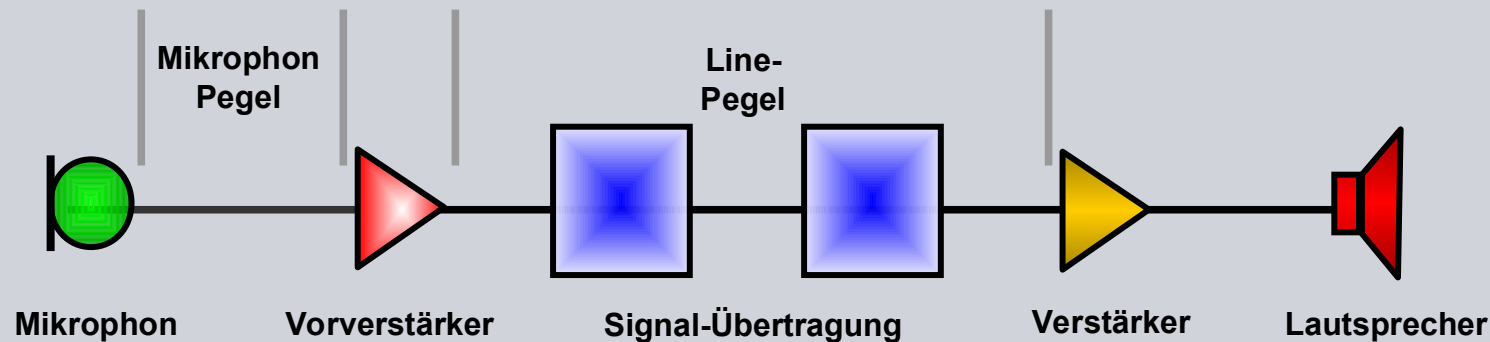
→ Die richtige Positionierung eines Mikrophons ist absolut kritisch für die gesamte Leistungsfähigkeit einer Anlage, Beschallung und für die Verständlichkeit

→ Das wird immer wieder übersehen oder ignoriert!

Die Audio-Kette

Verkabelung und Audiopegel

Audio-Pegel



Mikrophon-Pegel: ca. 1 mV ($-54 \text{ dB}_u = 1.55 \text{ mV}$, Referenz $0 \text{ dB}_u = 0.775 \text{ V}$)

Line-Pegel: ca. 1 V ($+6 \text{ dB}_u = 1.55 \text{ V}$, Referenz $0 \text{ dB}_u = 0.775 \text{ V}$)

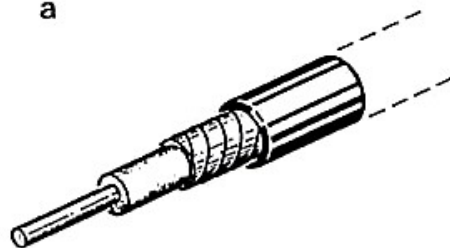
Dies entspricht einer Spannungsverstärkung von einem Faktor 1.000 $\rightarrow 60 \text{ dB}!!!$

Vorverstärker werden benötigt um das Eingangssignal auf einen brauchbaren Pegel zu verstärken. Jede Signalverarbeitung und –übertragung geschieht auf dem Übertragungspegel.

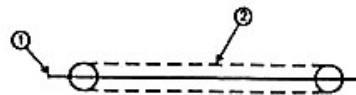
Symmetrische und asymmetrische Verkabelung



a



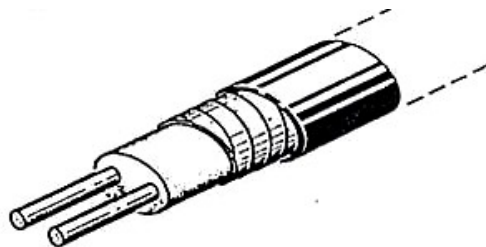
asymmetrisch



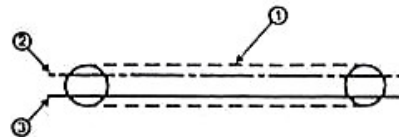
Bei der asymmetrischen Leitung (unbalanced) steht für das Signal eine separate Leitung zur Verfügung (1), während Abschirmung und Gegenpotential sich mit einem gemeinsamen Leiter (2) begnügen müssen.

Asymmetrische Verkabelung hat eine leitfähige Abschirmung und einen Kern. Das Signal wird zwischen Kern und Abschirmung transportiert.

Wird typischerweise in HiFi-Anwendungen gebraucht, wo man kurze Distanzen und hohe Signalpegel hat.



symmetrisch



Bei der erdfrei-symmetrischen Leitung stehen für Abschirmung (1), Gegenpotential (2) und Signal (3) separate Leitungen zur Verfügung.

Symmetrische Verkabelung hat zwei, verdrehte Kabelstränge, die das Signal transportieren sowie eine unabhängige Abschirmung.

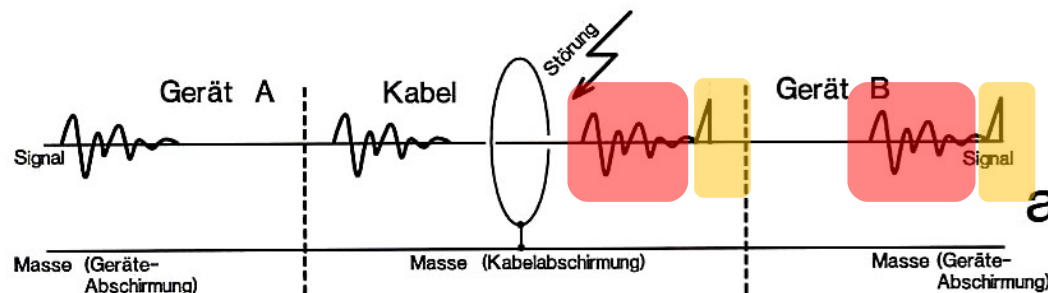
Dieses Kabel wird normalerweise im professionellen Umfeld eingesetzt, wo man lange Distanzen und z.T. sehr geringe Signalpegel (z.B. Mikrophon) hat.

Asymmetrische – Hochohmige Audio-Verkabelung



Asymmetrisch

Interferenzen



Eine Störung oder Interferenz addiert sich zum Signal und wird nicht durch die Abschirmung abgeleitet, da die Ableitung immer geerdet sein muss, um effektiv zu wirken.

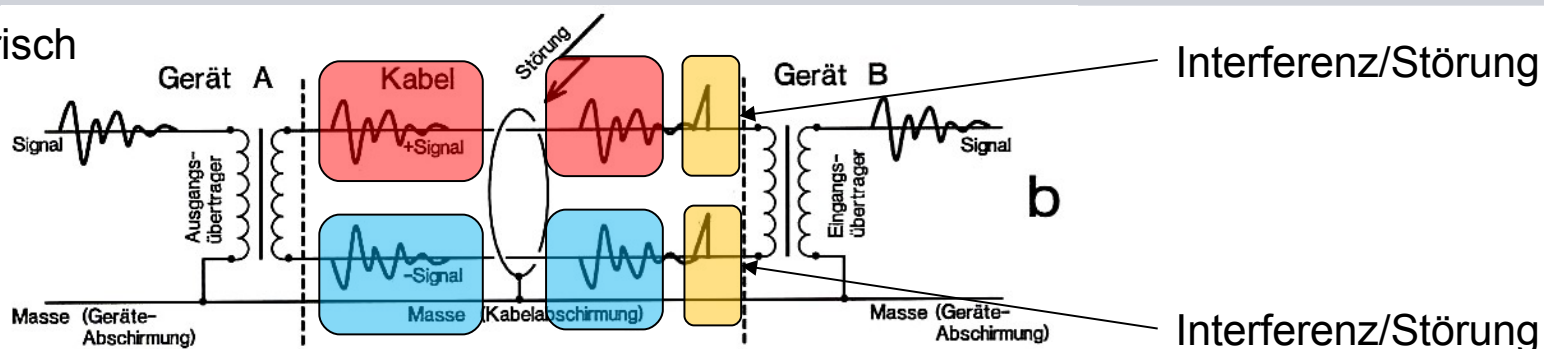
Die Störung wird also, da jetzt ein Bestandteil des Signals, zum nächsten Teilnehmer der Audio-Kette weitergeleitet.

Da diese Anwendung sehr häufig bei hochohmigen (niedrige Stromstärke) Konsumer-Geräten eingesetzt wird, sind diese auch entsprechend empfindlich in Bezug auf alle möglichen Störungen und Interferenzen.

Symmetrische – Niederohmige Audio-Verkabelung



symmetrisch



Da in einer verdrehten Zweidrahtleitung (Twisted Pair) das Signal als Differenzsignal übertragen wird (mit einer 180° Phasenverschiebung), wird eine Störung, die sich auf beiden Leitern mit der gleichen Phase addiert am Ende durch den Audio-Transformer «wegsubtrahiert», da sich die Störspannung im Eingang des Übertragers in die gleiche Richtung verändert. Deshalb wird die Interferenz oder Störung nicht mehr am Ausgang des Übertrager vorhanden sein, wogegen das Audio-Signal, da eine Differenz darstellend, übertragen wird. Neben der Symmetrierung mittels Übertragern kommen auch elektronische Differenzverstärker zum Einsatz.

Übertrager haben aber den Vorteil der galvanischen Trennung und können einen Erdschluss und damit eine Brummstörung verhindern.

Des Weiteren erhöht die Zweidrahtleitung auch die Immunität gegenüber magnetischen Störfelder und die Abschirmung reduziert Interferenzen erzeugt von elektromagnetischen Felder (Statik, etc.). Die Erhöhung der Stromstärke (niederohmig) reduziert Interferenzen.

Die Audio Kette

Signalübertragung und Signalbearbeitung

Signal Übertragung

- Switching
- Routing

Übertragung: in diesem Fall verändert sich das Audio Signal überhaupt nicht oder allgemeiner formuliert, «weder der Audio-Inhalt noch die darin enthaltene Information wird geändert».

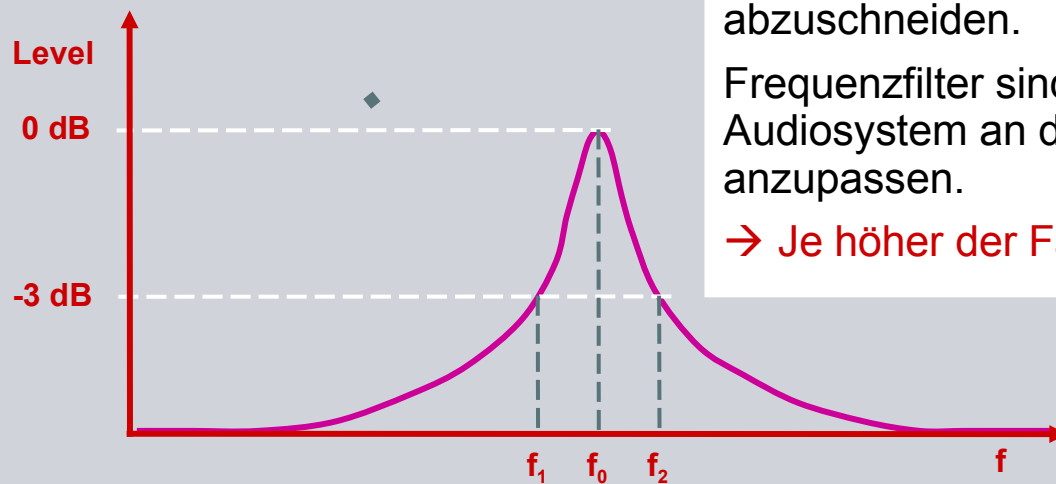
Signal Bearbeitung:

- Pegel
- Frequenz-Filter
- Verzögerung
- Dynamik
- Polarität

Verarbeitung: Hier wird das Audio-Signal verändert und angepasst

Das heißt, dass der Audio-Inhalt oder die darin enthaltene Information dem Zweck und Sinn mit Absicht angepasst wird.

Bandbreite and Q



$$Q = \frac{f_0}{f_2 - f_1}$$

Faktor Q

$$B = f_2 - f_1$$

Bandbreite [Hz]

Frequenzfilter werden benötigt, um gewisse Frequenzbänder eines Audiosignales anzuheben (verstärken/anheben) oder zu dämpfen bzw. abzuschneiden.

Frequenzfilter sind ein wesentliches Werkzeug um ein Audiosystem an die spezifischen Anforderungen anzupassen.

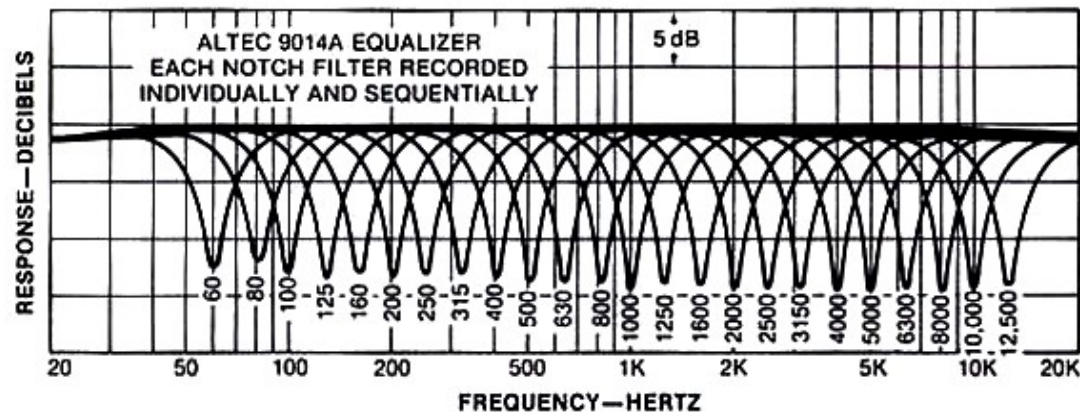
→ Je höher der Faktor Q, desto kleiner die Bandbreite

$$Q = \frac{f_0}{B}$$

$$B = \frac{f_0}{Q}$$

$$f_0 = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

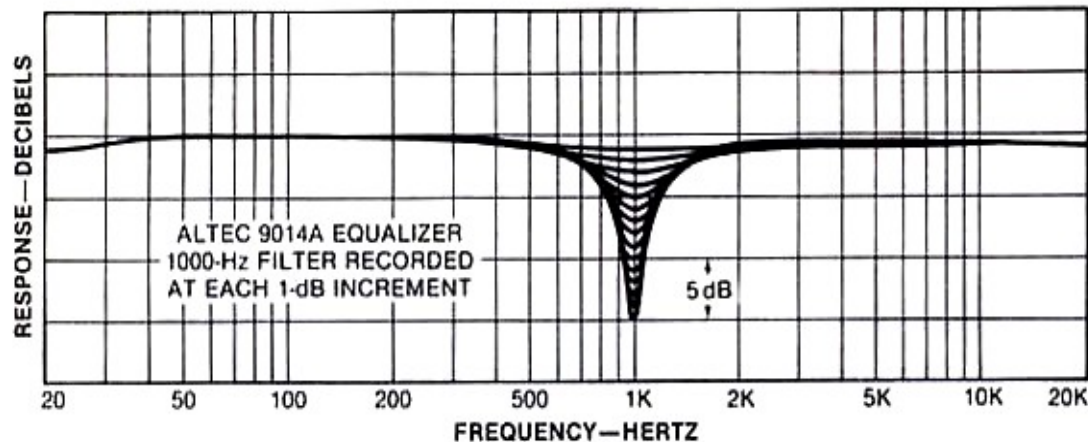
Frequenzfilter und Equalizer (EQ)



Graphische Equalizer

Graphische EQ beinhalten ein Set von Filter für bestimmte Frequenzbänder

Die individuellen Bänder können gebraucht werden, um gewisse Frequenzen zu verstärken bzw. zu senken oder abzuschneiden



Parametrische Equalizer

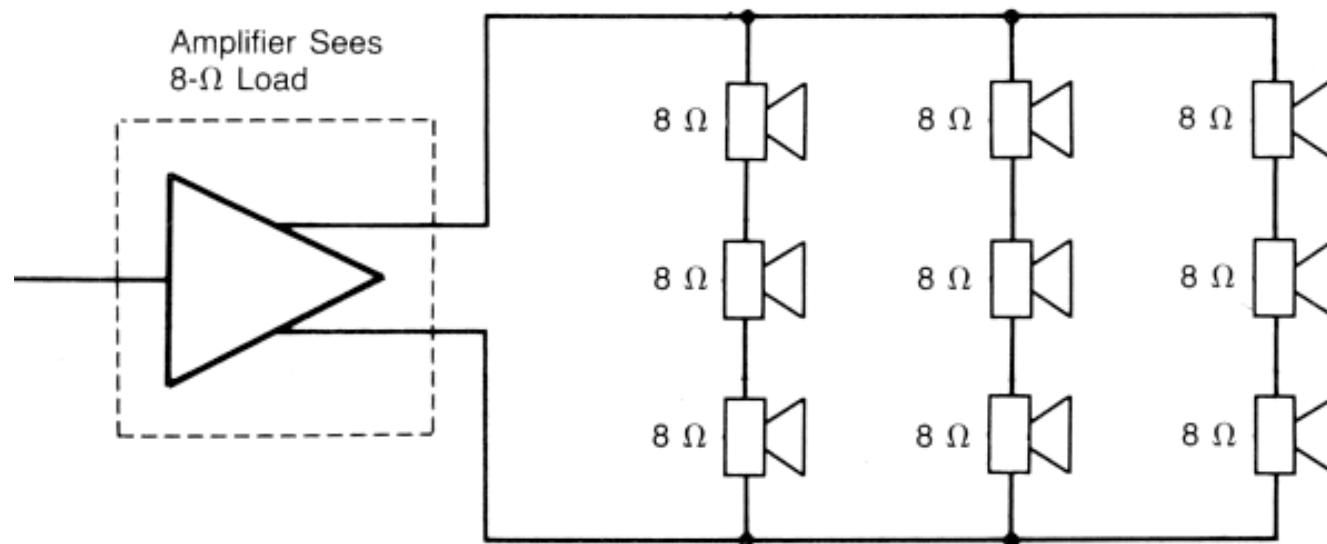
Solche Equalizer beinhalten einen oder mehrere Frequenzfilter. Diese können, für Verstärkung bzw. Dämpfung, auf eine gewisse Frequenz, Bandweite, Q gesetzt werden.

Die Audio-Kette

Verstärker und Lautsprecherverkabelung

Niederohmige- bzw. Systeme mit kleiner Impedanz

Figure 56. Low Impedance Distributed System

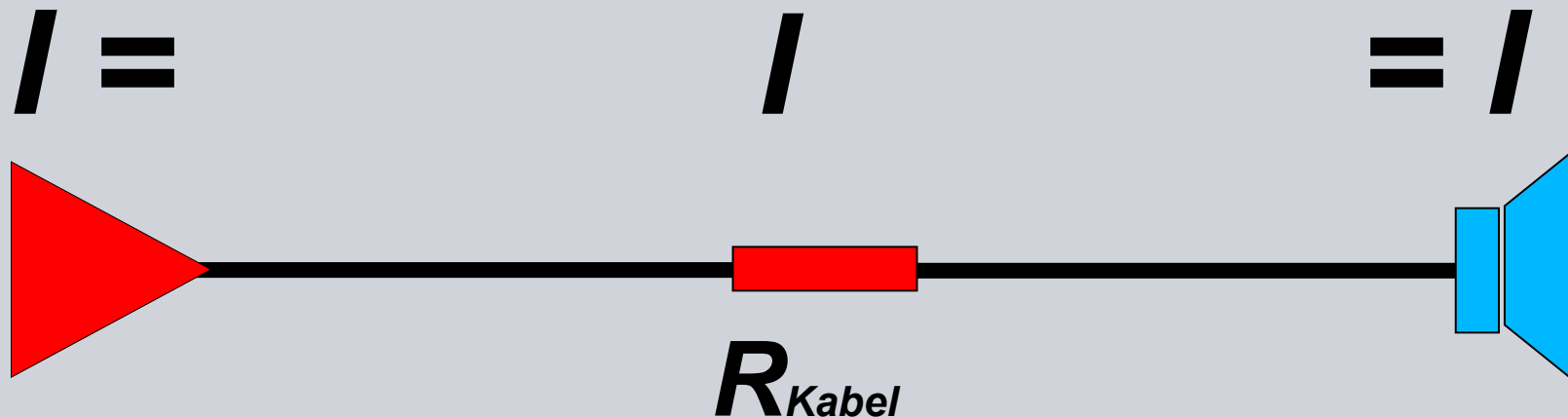


Series-Parallel Arrangements of Loudspeakers Are Usually Possible to Obtain Desired Loading of Amplifier

Niederohmige- bzw. Systeme mit kleiner Impedanz



U = Spannung, R = Widerstand, I = Stromstärke, P = Leistung



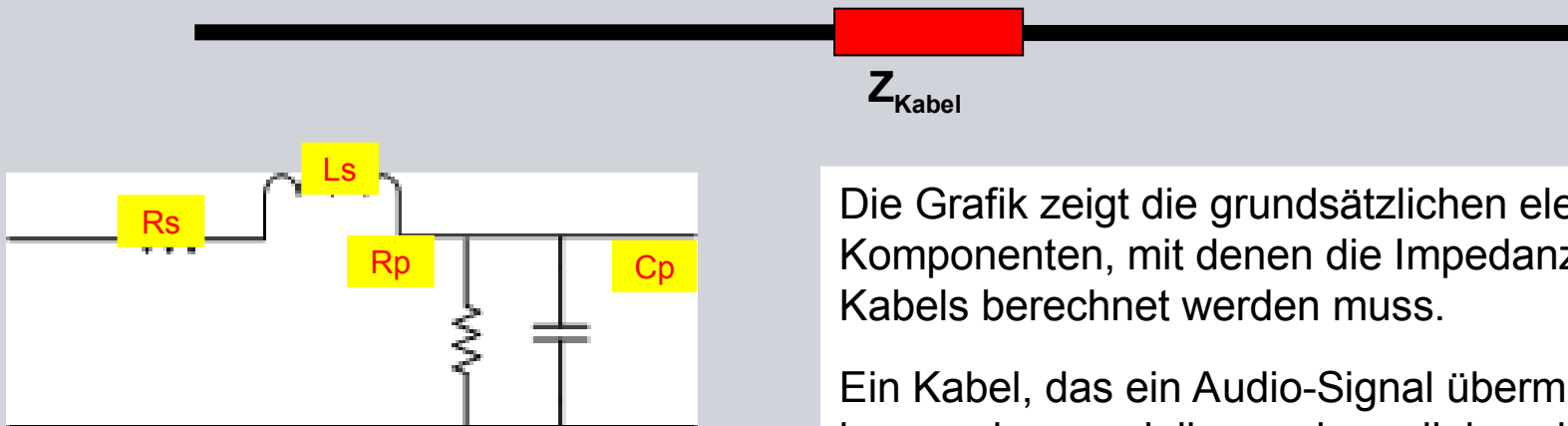
$$P_{Kabel} = I_{Kabel}^2 \times R_{Kabel}$$

In einem niederohmigen System ist der Verstärker direkt mit dem Lautsprecher verbunden. Diese Art der Verkabelung wird vor allem in der Consumer Elektronik wie HiFi, Audioanlagen für Autos, aber auch im professionellen Bereich unter der Voraussetzung kurzer Wege, verwendet

Systeme mit kleiner Impedanz, Verkabelung



Audio ist keine Gleichspannung, deshalb besitzt ein Kabel eine Impedanz und nicht nur einen ohmschen Widerstand



Die Grafik zeigt die grundsätzlichen elektrischen Komponenten, mit denen die Impedanz eines Kabels berechnet werden muss.

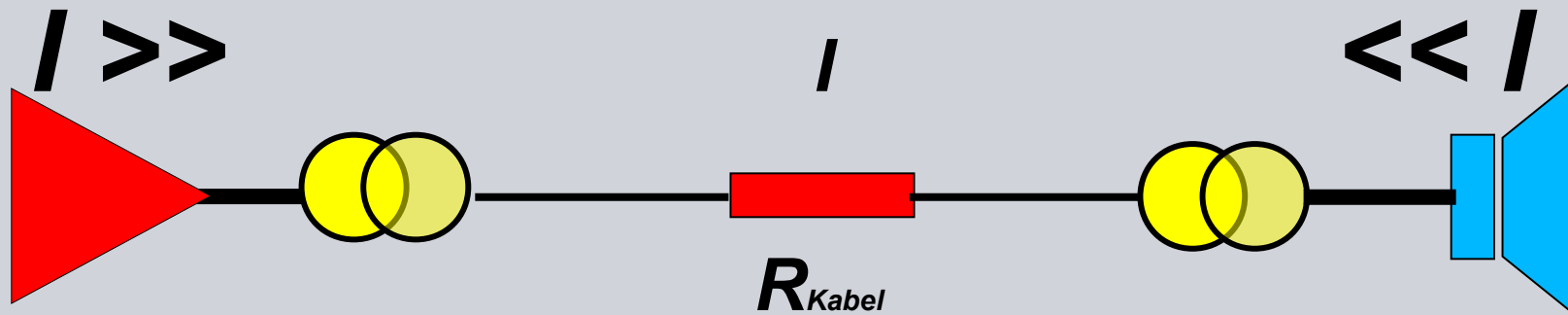
Ein Kabel, das ein Audio-Signal übermittelt, besitzt immer einen seriellen und parallelen ohmschen Widerstand, eine Induktion und eine parallele Kapazität.

Das heißt, dass die Impedanz eines Kabels Frequenzabhängig ist und je nachdem wird das Kabel im Minimum wie ein Filter für hohe Frequenzen wirken.

Hochohmige- oder Systeme mit großer Impedanz mit konstanter Spannung (100V/70V/50V/25V)



U = Spannung, R = Widerstand, I = Stromstärke, P = Leistung

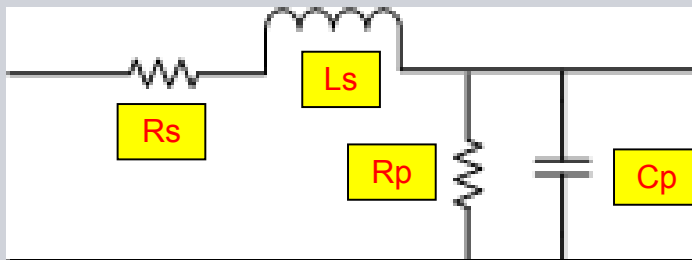
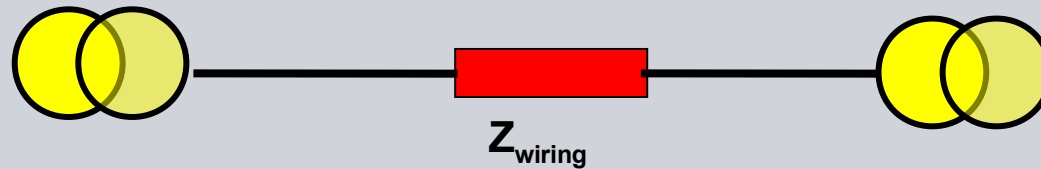


$$P_{Kabel} = I_{Kabel}^2 \times R_{Kabel}$$

$$P_{Verstärker} - P_{Kabel} = P_{Lautsprecher(effektiv)}$$

In einem System mit hoher Impedanz (hochohmig) ist der Verstärker an einen Übertrager angeschlossen, um die Spannung anzuheben und die Stromstärke zu reduzieren. Auf der Seite des Lautsprechers wird die Spannung dann wieder auf das ursprüngliche Maß reduziert bzw. bei der Stromstärke erhöht. Diese Art wird vor allem im professionellem Bereich genutzt, um die Kabelverluste klein zu halten und wenn viele, über größere Distanzen verteilte Lautsprecher anzusteuern sind.

Hochohmige- oder Systeme mit großer Impedanz



Wie beim niederohmigen System hat auch hier ein Kabel nicht nur einen niederohmigen Widerstand, sondern eine Impedanz.

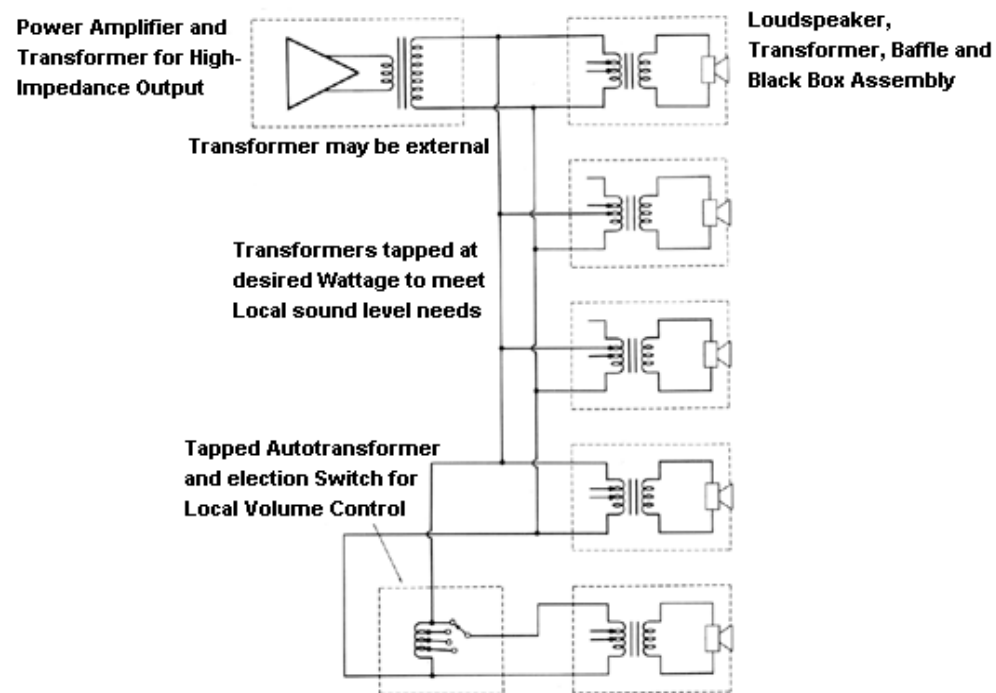
Auch wenn die hochohmige Verkabelung kleinere Drahtdurchmesser benötigt, als die niederohmigen, müssen die gewählten Kabeldurchmesser immer bzgl. Spannungsabfall und Fehlanpassung überprüft werden.

Auch die Fähigkeiten und Eigenschaften der Verstärker und Übetrager müssen immer auf die generierte Gesamtlast der Lautsprecher und Verkabelung im System abgestimmt werden.

Layout eines hochohmigen Systems



Figure 57. High Impedance Distributed System

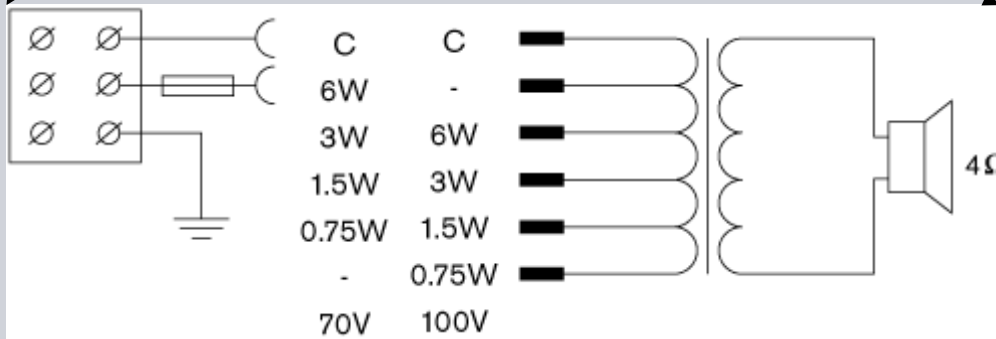
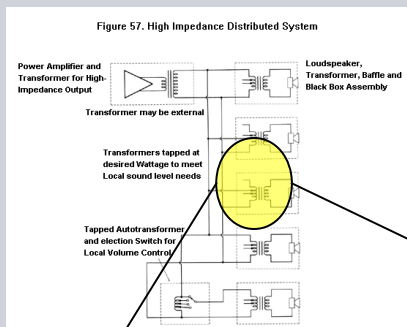


Diese Zeichnung zeigt einige, verteilte Lautsprecher, die über einen Übertrager an ein hochohmiges System angeschlossen sind.

Die gesamte Last der Lautsprecher bzw. die gesamte Last der Übertrager die am System angeschlossen sind dürfen die Impedanz des Verstärkers nicht übersteigen.

Das heißt, dass die gesamte Leistung aller Lautsprecher im System kleiner oder maximal gleich sein muss, als die Leistung, die der Verstärker am Ausgang liefern kann.

Der Abgriff («tapping») bei einem Lautsprecher für ein hochohmiges System



Beim Lautsprecher hat es verschiedene Spulenabgriffe, die es ermöglichen, die verfügbare Leistung am Lautsprecher fix einzustellen.

Dies ermöglicht es, trotz Verwendung des gleichen Lautsprechertyps in der gleichen Leitung verschiedene Pegel, je nach individuellem Raumbedürfnis, so einzustellen, dass die Beschallung funktioniert.

In dem Beispiel kann die Leistung des Lautsprecher-Übertrager für 6W, 3W, 1,5W oder 0,75W bei 100V Input eingestellt werden.

Die angezeigte Leistung basiert auf maximalen Ausgangs-Pegel des Verstärkers (in diesem Fall für 100V und 70V)

Zusammenfassung: hoch- und niederohmige Übertragung



Hochohmige Systeme (100V/70V)

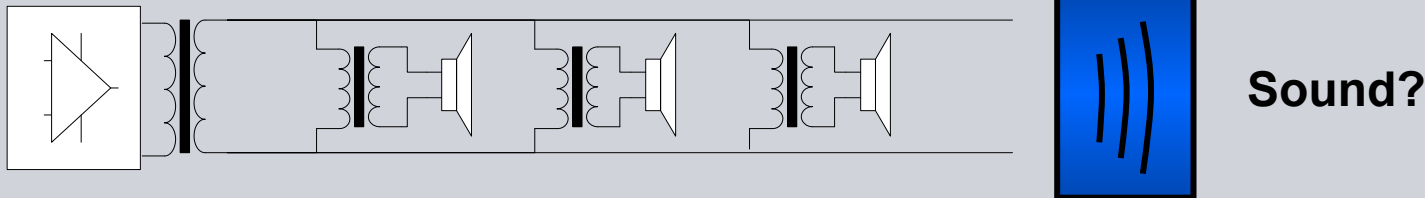
- Übertrager am Verstärkerausgang und an jedem Lautsprecher
- Niedrige Stromstärke
- Kleinere Drahtdurchmesser
- Durch den Abgriff am Lautsprecher-Übertrager kann die verfügbare Leistung individuell und fix eingestellt werden
- Weniger Interferenzen und Störungen im System, durch die symmetrische Verkabelung sowie durch den sehr kleinen Effekt falls ein Lautsprecher ausfällt (Kurzschluss, etc.)
- Große Anzahl von Kontroll- und Überwachungsmöglichkeiten für das System verfügbar.

Niederohmige Systeme

- Keine zusätzlichen Übertrager notwendig
- Größere Stromstärke
- Größere Kabeldurchmesser
- Keine Möglichkeiten Leistung des Lautsprechers individuell einzustellen. Impedanz und Verkabelung bestimmt die verfügbare Leistung
- Das System generiert große Interferenzen im Falle eines Lautsprecherfehlers.
- Weniger Möglichkeiten das System zu kontrollieren und zu überwachen



Hochohmige Systeme: Überwachung, Kontrolle und Redundanzen



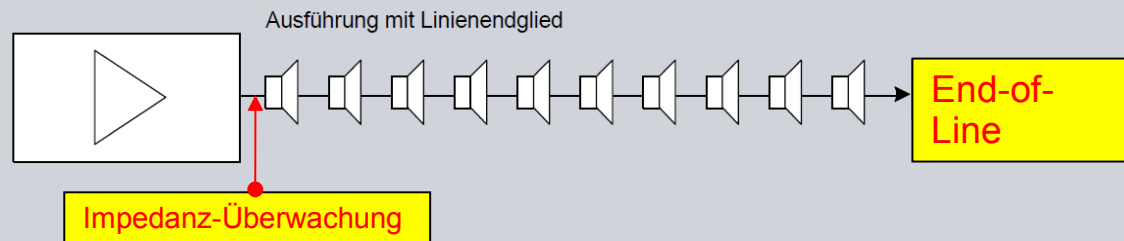
In SAA und ENS müssen Lautsprecher und die dazu gehörende Verkabelung überwacht und regelmässig auf deren Funktionstüchtigkeit überprüft werden.

Abhängig von den lokal gültigen Regelwerken und den anzuwendenden Sicherheitsklassen ist auch eine Redundanz notwendig. Dies gilt nicht nur für Lautsprecher, sondern für das gesamte System inklusiv Verstärker, Spannungsversorgung, usw.

Es haben sich verschiedenste Methoden und Funktionsweisen etabliert, um diese Anforderungen sicherzustellen, wobei sehr häufig proprietäre, durch Patente geschützte Lösungen zum Einsatz kommen.

Nachfolgend werden einige, grundsätzliche Methoden aufgezeigt.

Hochohmige Systeme - Überwachung und Klasse B Verkabelung



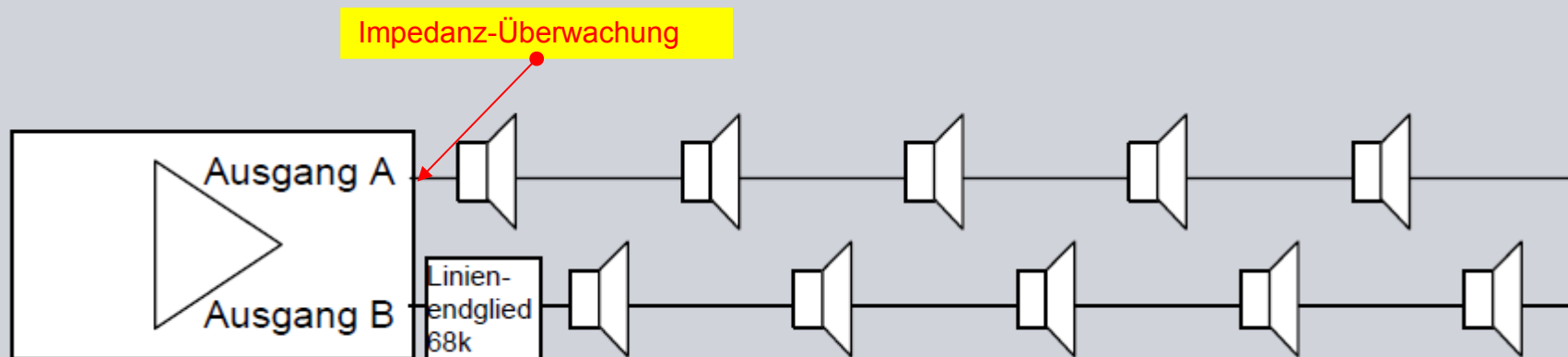
Unter der Klasse B Verkabelung versteht man eine Einfachleitung die zu den Lautsprechern führt. Die Impedanz-Überwachung überwacht mit einem unhörbaren Signal ob die Leitung irgendwo einen Kurzschluss bzw. Leerlauf aufweist oder ob ein Fehler am Lautsprecher vorliegt.

Die Impedanz-Überwachung hat aber den großen Nachteil, dass beim Anschluss einer großen Anzahl von Lautsprechern an eine Linie, der Ausfall eines einzigen Lautsprechers keinen genügend großen Effekt in der Impedanz hat. Die Impedanz variiert auch in einem korrekten System mit dem Wechsel von Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Lärm, usw. relativ stark. Daher muss in der Überwachung mit einer minimalen Toleranz von ca. 15-20% eingestellt werden. Ein Lautsprecher der ausfällt, liegt innerhalb dieser Toleranz.

Der Gebrauch eines «End-of-Line» Elementes verbessert die Situation, da er zumindest die Funktionstüchtigkeit der Leitung sicherstellt. Zu berücksichtigen:

- Vom Punkt einer Unterbrechung an, sind sämtliche nachfolgenden Teile «abgehängt» und nicht mehr funktionstüchtig
- Ein Kurzschluss schließt die komplette Linie kurz

Hochohmige Systeme - Überwachung und Klasse A – Loop Verkabelung

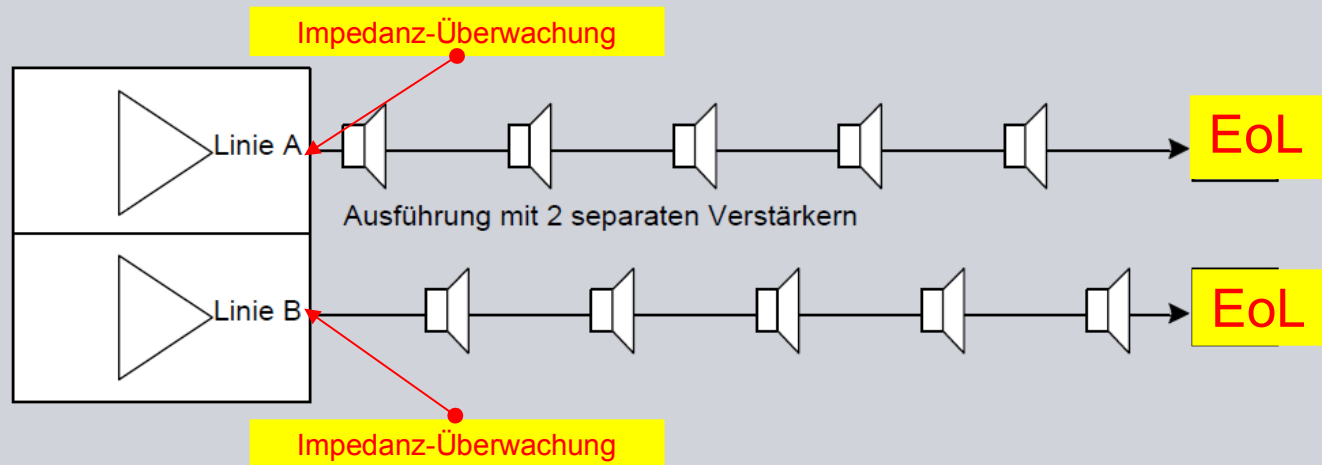


Klasse A Verkabelung ist eine Einfachleitung vom Verstärker zum Lautsprecher, die im Loop geschaltet ist.

Der Gebrauch des Linienendglieds (End-of-Line, EoL) ermöglicht die Überprüfung der Linienintegrität

- Die erste Unterbrechung wird nicht dazu führen, dass ein ganzer Teil abgehängt wird.
- Ein Kurzschluss schließt die komplette Linie kurz

Hochohmige Systeme – Überwachung und Klasse A/B –Verkabelung

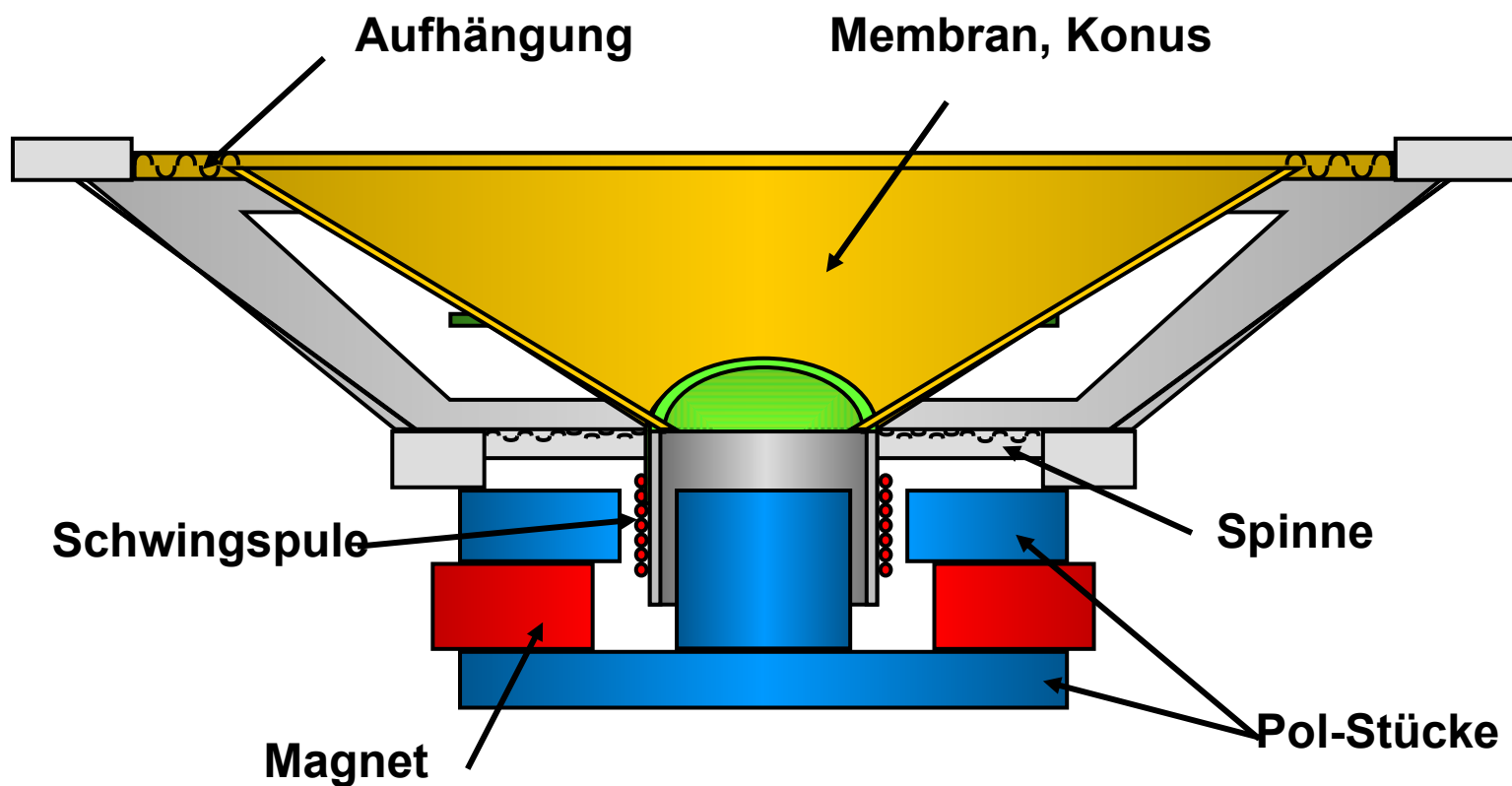


In dieser Verkabelungsart werden zwei Linien, ausgehend von zwei Verstärkern in das gleiche Beschallungsgebiet geführt → Redundante Verkabelung.

Der Gebrauch der Linienendglieder ermöglicht die Überprüfung der jeweiligen Linienintegrität
Falls eine ganze Leitung (Kurzschluss) oder Teile einer Leitung (Leerlauf) ausfällt, ist noch die andere Leitung vorhanden.

Die Audio-Kette

Lautsprecher



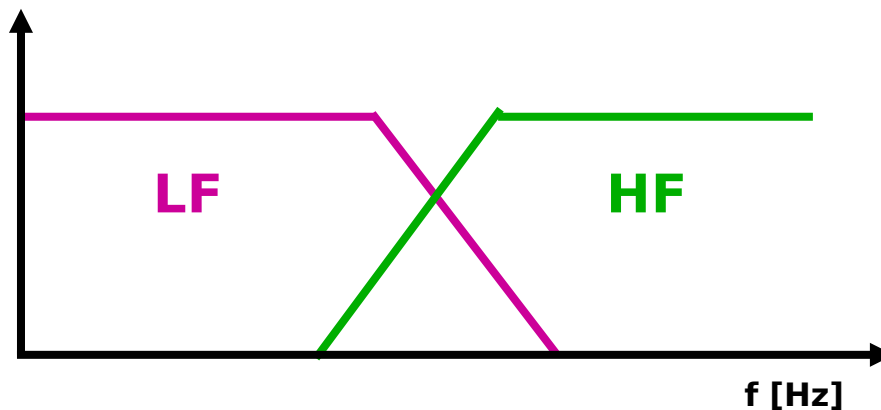
2-Wege Lautsprecher



System mit einer Frequenzweiche

Empfänger sind nicht in der Lage den gesamten Frequenzbereich sauber abzudecken.

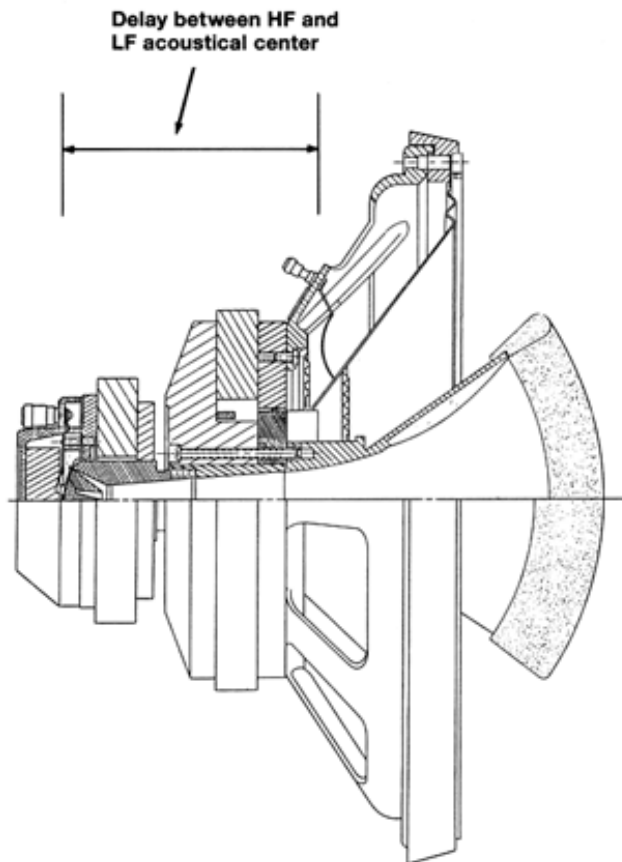
Mit der Frequenzweiche können auf den jeweiligen Frequenzbereich optimierte Wandler eingesetzt werden.

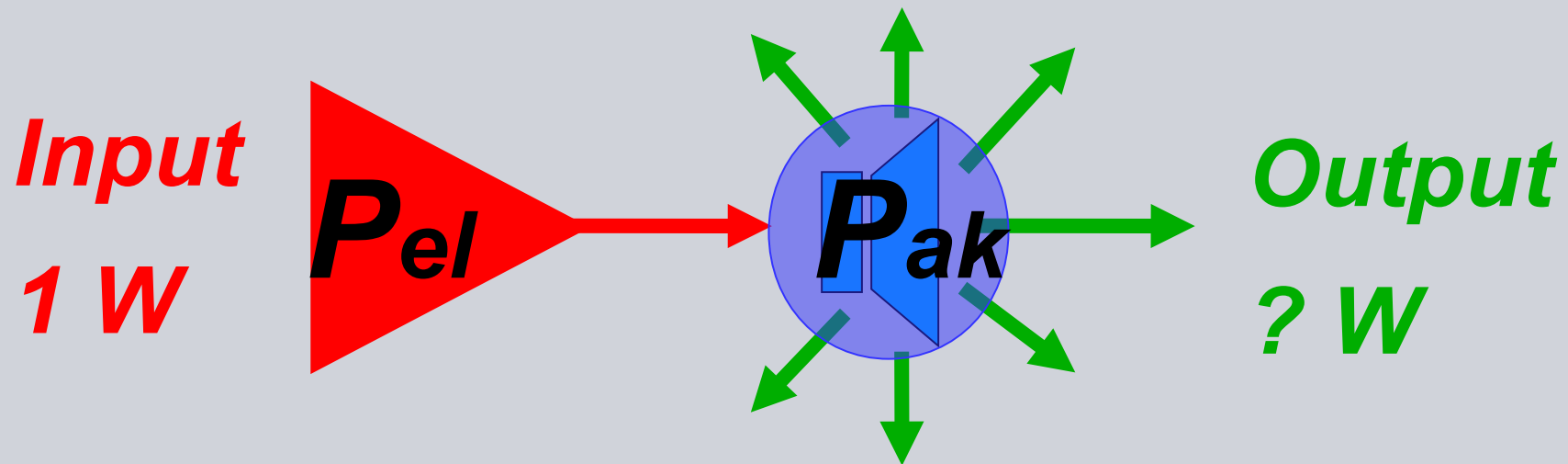


Beispiel für einen Koax-Zweiweg-Lautsprecher



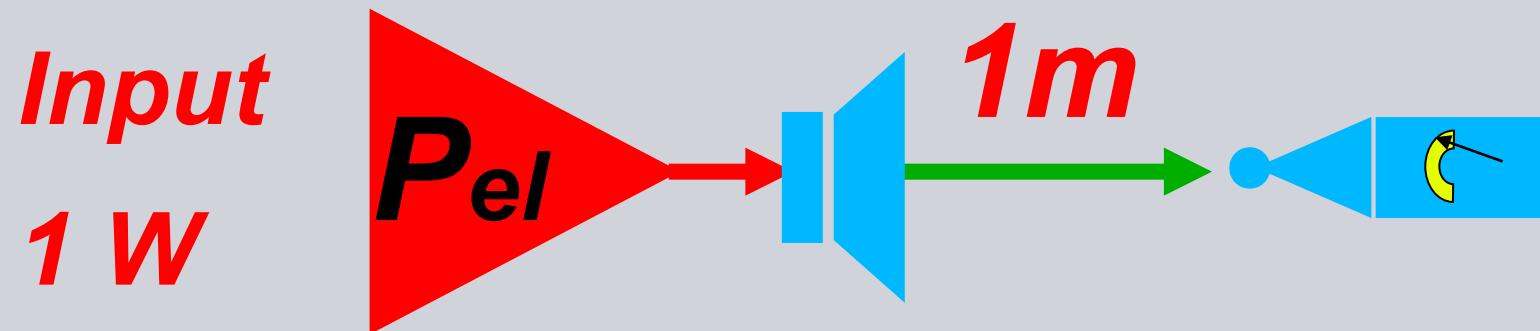
Figure 48. Delay between HF and LF Acoustical Center of a Monitor Loudspeaker





$$\eta = \frac{P_{ak}}{P_{el}}$$

Der Wirkungsgrad beschreibt das Verhältnis des gesamten akustischen Outputs zum gesamten elektrischen Inputs. Der Wirkungsgrad eines einfachen Deckenlautsprechers ist teilweise weniger als 1%!



$$L_{sens} = ? \text{ dB}_{SPL} / 1W / 1m$$

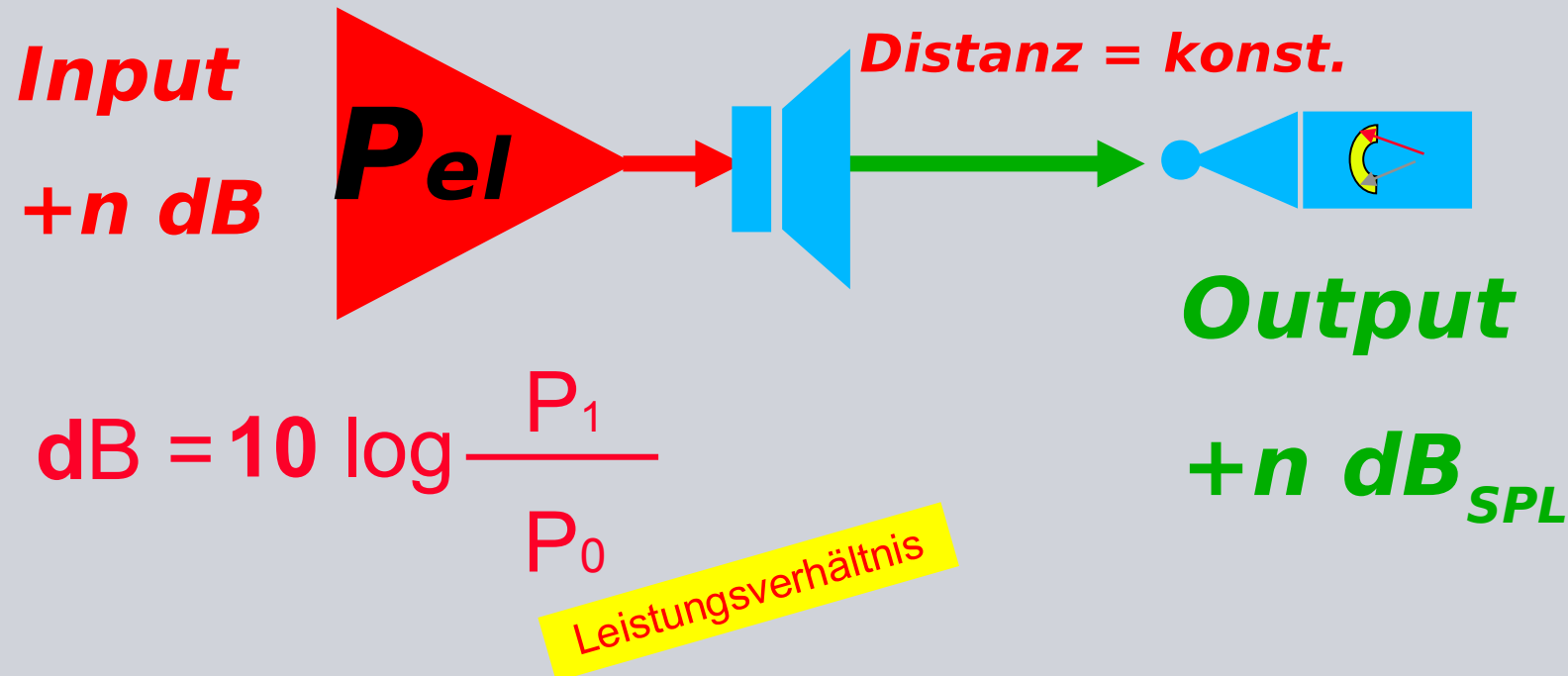
Output
? dB_{SPL}

Die Empfindlichkeit beschreibt den direkten Schalldruckpegel (SPL) auf der Hauptachse, bei einem gewissen Abstand zum Lautsprecher bei einer definierten elektrischen Leistung

Die Empfindlichkeit eines Deckenlautsprechers ist normalerweise ca. $90 \text{ dB}_{SPL} @ 1W/1m$

→ Angaben bzgl. Empfindlichkeit sind ein muss zur Berechnung von Beschallungsanlagen

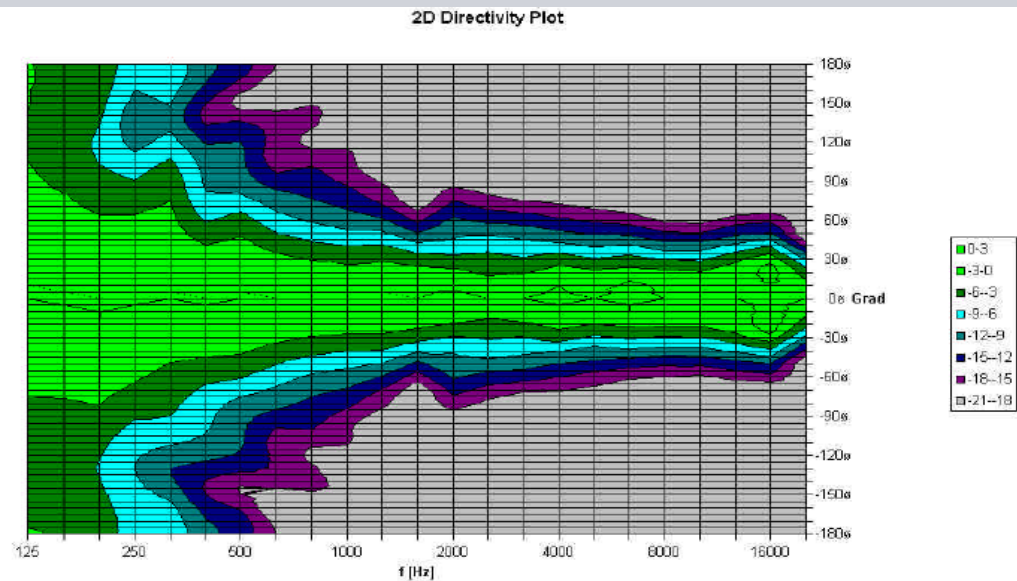
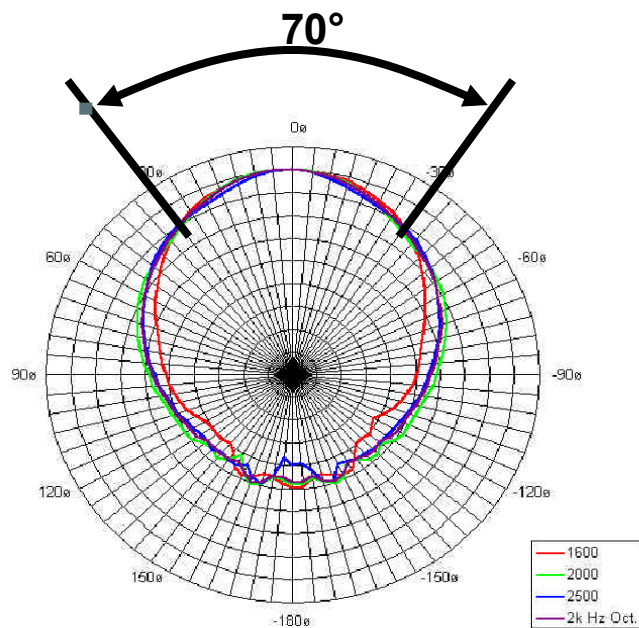
Leistung vs. Schalldruckpegel (SPL)



Wird die Eingangsleistung mit n dB verändert, so wird sich auch der Schalldruckpegel auf der Hauptachse bei einem gegebenen Abstand entsprechend ändern.

Das Verdoppeln der Eingangsleistung wird den Schalldruckpegel um +3dB erhöhen.

Der nominale Abstrahlwinkel

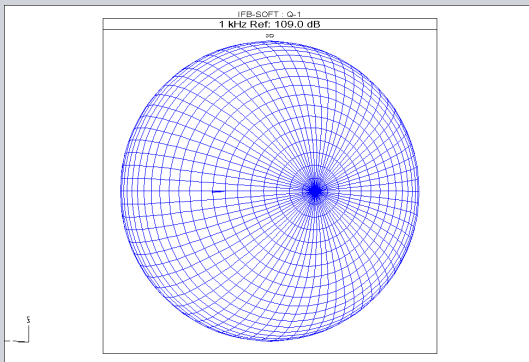


LF: *niedriger Richtfaktor* **HF:** *hoher Richtfaktor*

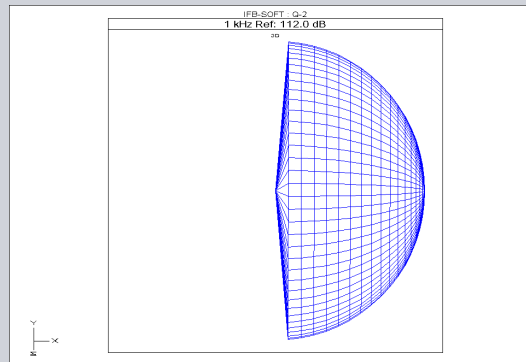
Der nominale Abstrahlwinkel wird als derjenige Winkel definiert, innerhalb dessen der Schalldruckpegel eines Lautsprechers um 6 dB gegenüber der Hauptachse abfällt.

Der Abstrahlwinkel ist frequenzabhängig.

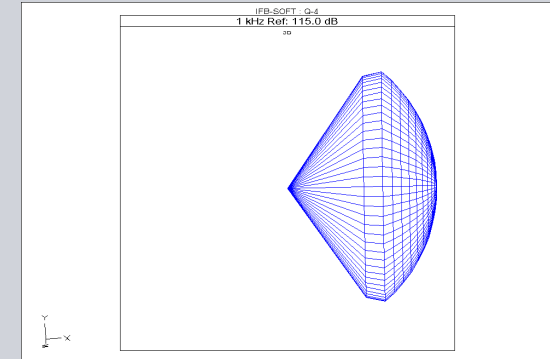
Ballons eines Lautsprechers, Q & Di



$Q = 1$
 $DI = 0 \text{ dB}$



$Q = 2$
 $DI = 3 \text{ dB}$



$Q = 4$
 $DI = 6 \text{ dB}$

$$DI = 10 \log Q$$

Die Ballons beschreiben, wohin der direkte Schall abgestrahlt wird.

Für eine Beschallungsberechnungen ist die Berücksichtigung dieser Parameter ein Muss, da der nominale Abdeckungswinkel nicht immer genügt.

Deckenlautsprecher: Werbung und Lieferantenbeschreibung, Beispiel



PRODUCTS » EN54-24 SPEAKERS

Home > Products > EN54-24 Speakers > Ceiling Speaker - Metal

CEILING SPEAKER -
METAL

A/B SPEAKERS

WALL- AND CEILING
SPEAKERS

SOUND PROJECTOR
ALUMINIUM

HORN-SPEAKER

CEILING SPEAKERS

WDR-130-F-EN | WDR-130-F-EN-ABDS



One-piece ceiling loudspeaker with ball-proof grille, suitable for installation in ceilings of all kinds. The 130 mm chassis impresses by high sound pressure level and an excellent frequency range. Quick mounting in a few seconds is ensured

by our patented quick mounting system (with stainless steel spring clips). The housing is impregnated, thus protected against moisture.

Connect - plug in - ready for use

Further applications possible due to an additional flush mounting enclosure for solid walls and concrete ceilings.

DATA SHEET [PDF] 91 KB

CERTIFICATE [PDF] 1.0 MB

Deckenlautsprecher: Werbung und Lieferantenbeschreibung, Beispiel



| Typ | WDR-130-F-EN | WDR-130-F-EN-ABDS |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| load rating | 6W/100V | 2x 6W/100V |
| impedance | 1667 Ω | 2x 1667 Ω |
| transformer matching | 6 / 3 / 1,5W | 2x 6 / 3 / 1,5W |
| sound pressure level (1W/1m) | 93dB | 93dB |
| max. sound pressure level (1m) | 101dB | 101dB |
| frequency range (-10dB) | 80-19000 Hz | 80-19000 Hz |
| transmission angle | 180° | 180° |
| dimensions (mm) | Ø 167x90 | Ø 167x90 |
| ceiling cut-out (mm) | 140-150 | 140-150 |
| weight | 1,0kg | 1,1kg |
| connection | 4-pole ceramic terminal | 4-pole ceramic terminal |
| color | white RAL9010 | white RAL9010 |
| | | double voice coil |
| certification EN54-24 | 1293-CPD-0312 | 1293-CPD-0312 |
| accessories | UPD | UPB |
| | flush box | flush box for concrete ceilings |

CEILING SPEAKER

Gemessene Eigenschaften eines Deckenlautsprechers, Beispiel



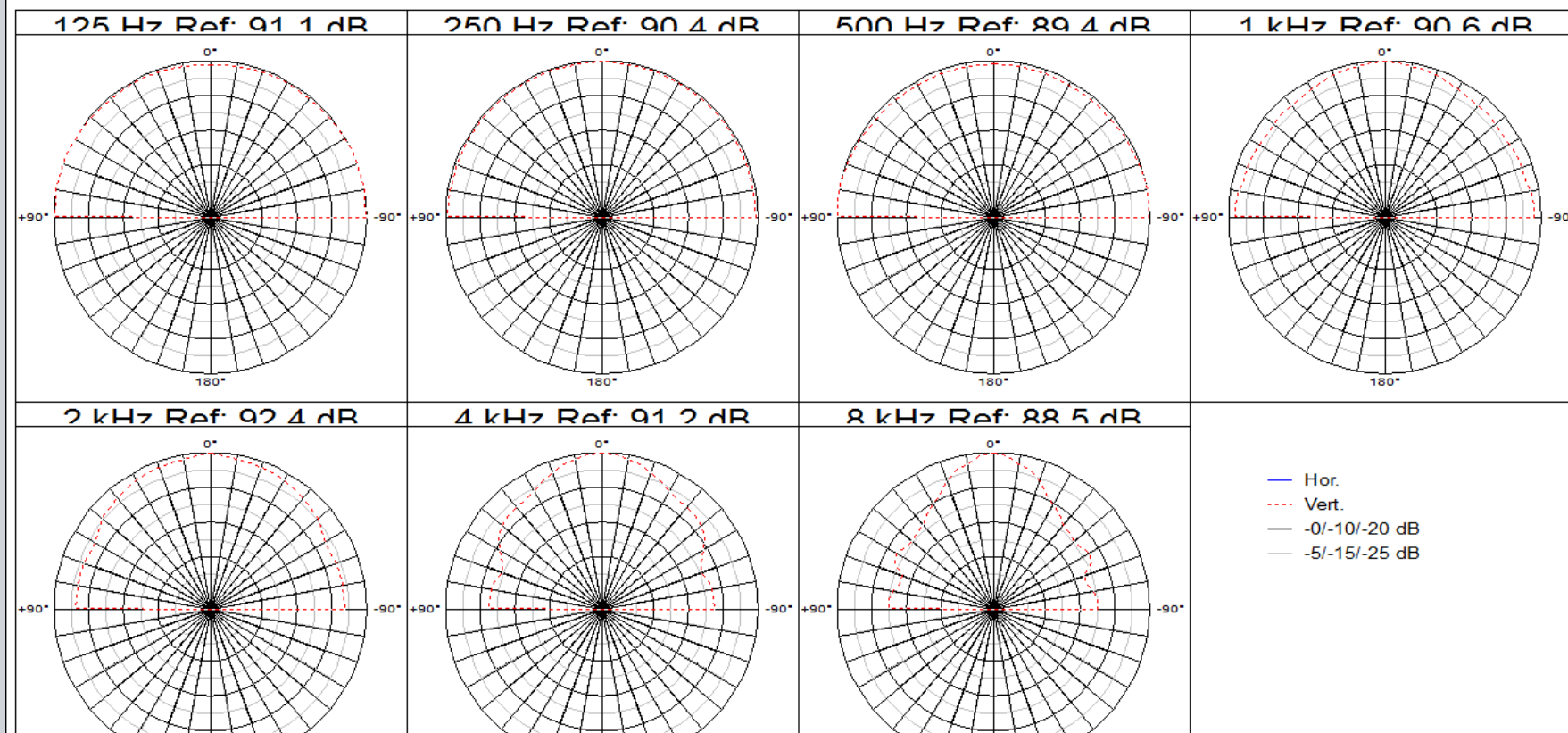
Ulysses Speaker Datasheet

| | | | | | | | |
|-------------------------|----------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Manufacturer | PÖSCHEL | | | | | | |
| Type | WDR-130 | | | | | | |
| Data source | | | | | | | |
| dto. | Fritz Pöschel ETG | | | | | | |
| Input format | Full sphere, 5° resolution | | | | | | |
| Frequency [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
| Max. Power(AES)[W] | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| SPL @1W @1m [dB] | 89.7 | 90.4 | 88.4 | 90.6 | 92.4 | 91.2 | 88.5 |
| Nominal impedance[Ohms] | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Directivity factor Q | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 3.5 | 5.1 | 10.5 | 20.9 |
| Directivity index [dB] | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 5.4 | 7.1 | 10.2 | 13.2 |
| Efficiency [%] | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.0 |
| Comment | Deckenlautsprecher 167mm | | | | | | |

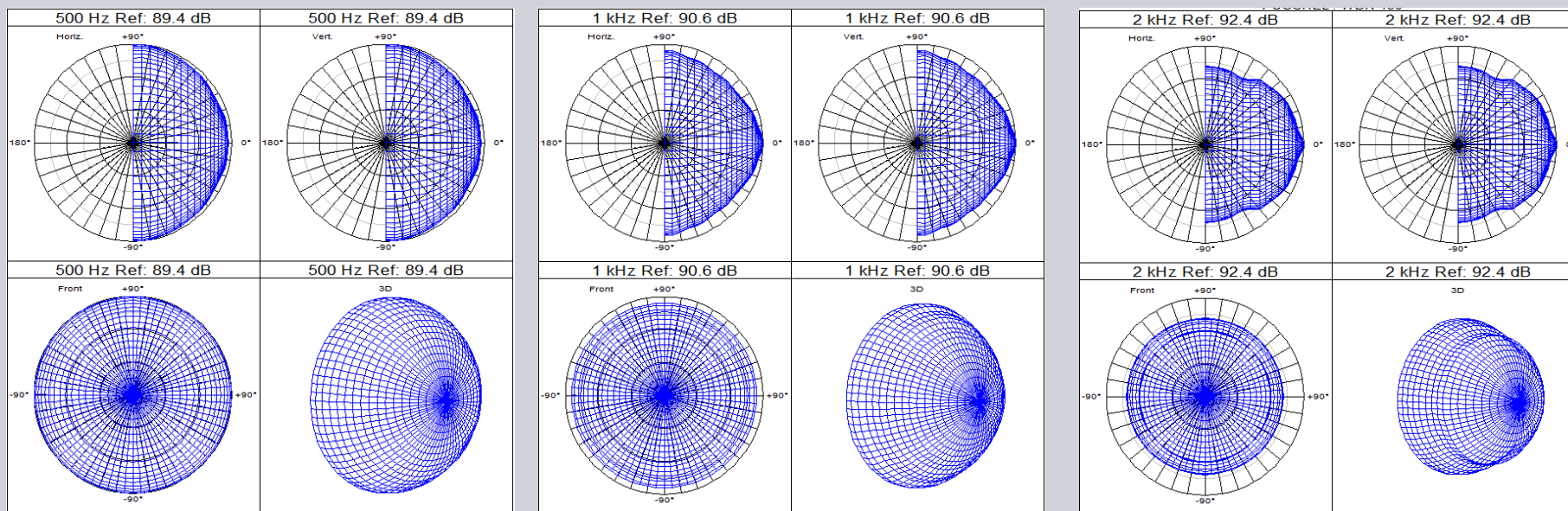
Gemessene Eigenschaften eines Deckenlautsprechers, Beispiel



PÖSCHEL : WDR-130

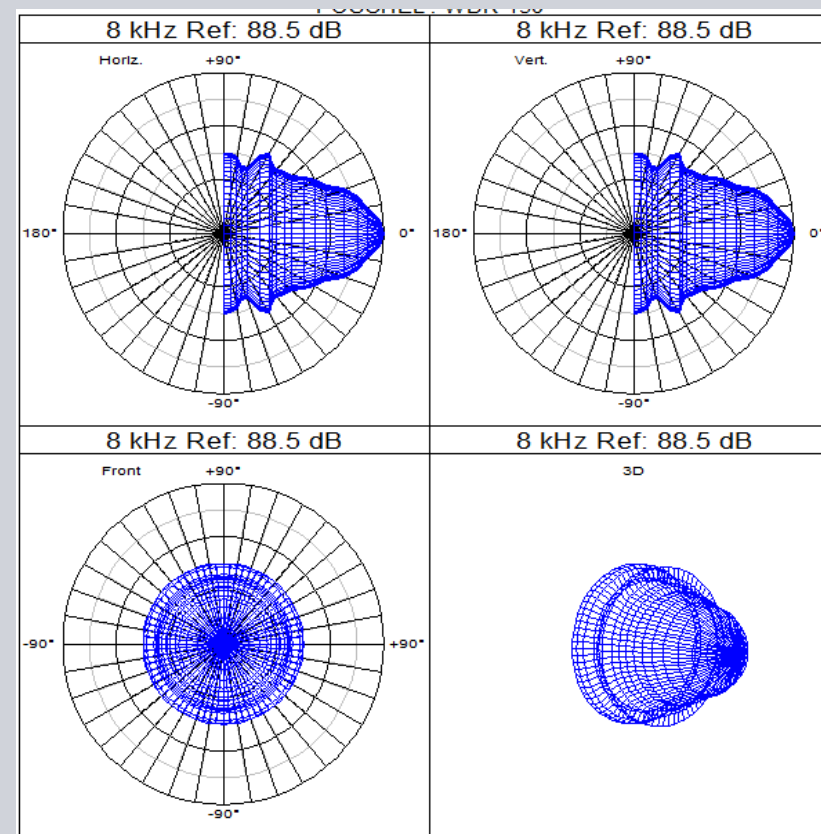
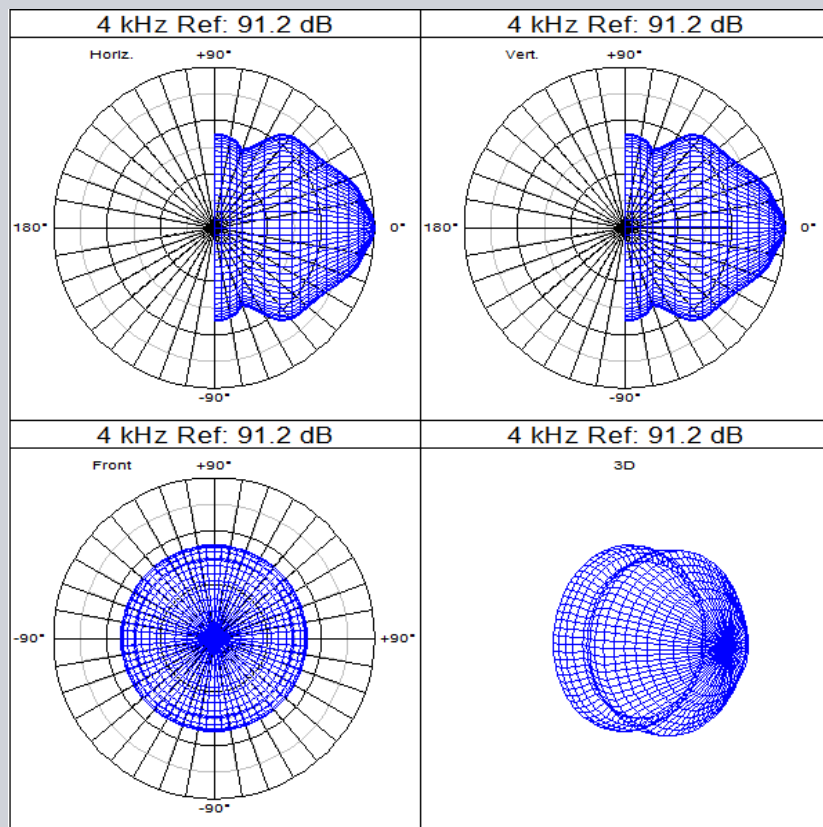


Gemessene Eigenschaften eines Deckenlautsprechers, Beispiel



Achten Sie darauf wie sich der Abstrahlwinkel zu höheren Frequenzen verändert!

Gemessene Eigenschaften eines Deckenlautsprechers, Beispiel



Achten Sie darauf wie sich der Abstrahlwinkel zu höheren Frequenzen verändert!

Gemessene Eigenschaften eines Deckenlautsprechers und Hornlautsprechers



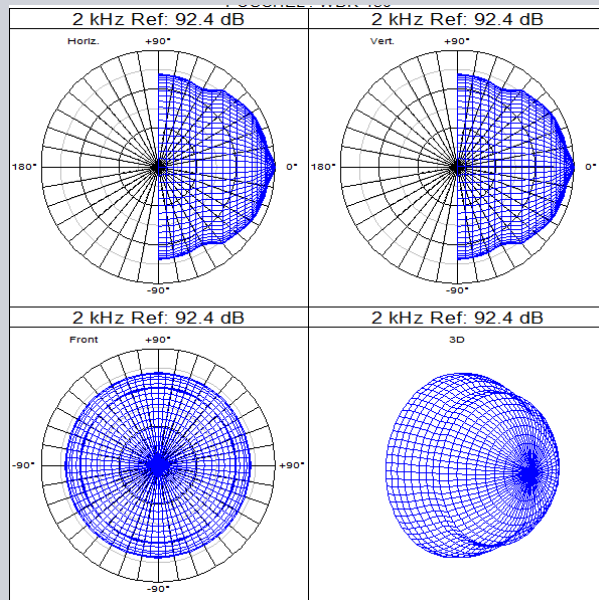
| Ulysses Speaker Datasheet | | | | | | | | |
|---------------------------|---------------------------|------|------|------|---------|------|------|--|
| Manufacturer | | | | | PÖSCHEL | | | |
| Type | Deckenlautsprecher | | | | WDR-130 | | | |
| Data source | | | | | | | | |
| dto. | Fritz Pöschel ETG | | | | | | | |
| Input format | Full sphere,5° resolution | | | | | | | |
| Frequency [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Max. Power(AES)[W] | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | |
| SPL @1W @1m [dB] | 89.7 | 90.4 | 88.4 | 90.6 | 92.4 | 91.2 | 88.5 | |
| Nominal impedance[Ohms] | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| Directivity factor Q | 2.0 | 2.1 | 2.2 | 3.5 | 5.1 | 10.5 | 20.9 | |
| Directivity index [dB] | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 5.4 | 7.1 | 10.2 | 13.2 | |
| Efficiency [%] | 0.8 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.2 | 0.0 | |
| Comment | Deckenlautsprecher 167mm | | | | | | | |

| Ulysses Speaker Datasheet | | | | | | | | |
|---------------------------|------------------|------|------|------|------|------|-------|--|
| Manufacturer | Hornlautsprecher | | | | | WHD | | |
| Type | | | | | | CH80 | | |
| Data source | | | | | | | | |
| dto. | | | | | | | | |
| Input format | | | | | | | | |
| Frequency [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 | |
| Max. Power(AES)[W] | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | |
| SPL @1W @1m [dB] | 94.3 | 98.6 | 94.0 | 99.2 | 98.7 | 99.2 | 101.7 | |
| Nominal impedance[Ohms] | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | |
| Directivity factor Q | 2.4 | 3.4 | 9.8 | 18.5 | 9.9 | 14.2 | 28.6 | |
| Directivity index [dB] | 3.8 | 5.3 | 9.9 | 12.7 | 10.0 | 11.5 | 14.6 | |
| Efficiency [%] | 1.4 | 2.7 | 0.3 | 0.6 | 1.0 | 0.8 | 0.7 | |
| Comment | Coaxhorn | | | | | | | |

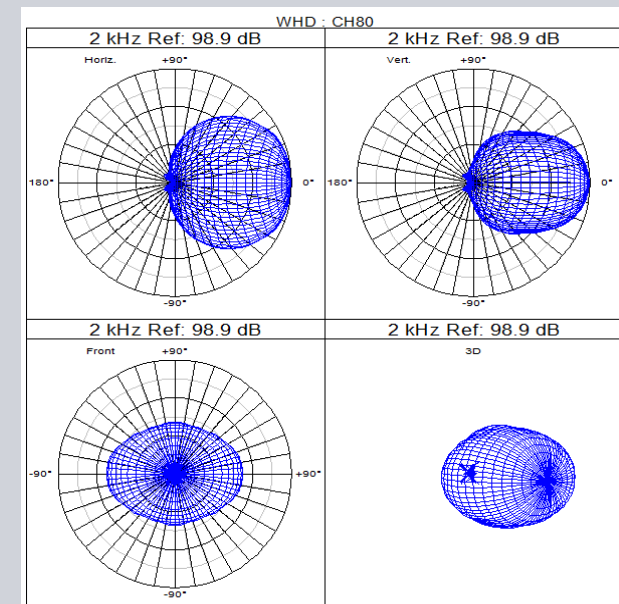
Bemerke die Unterschiede in:

- Frequenzgang
- Empfindlichkeit (Sensitivity)
- Wirkungsgrad (Efficiency)
- Richtfaktor (Directivity)

Gemessene Eigenschaften eines Deckenlautsprechers und Hornlautsprechers



Deckenlautsprecher



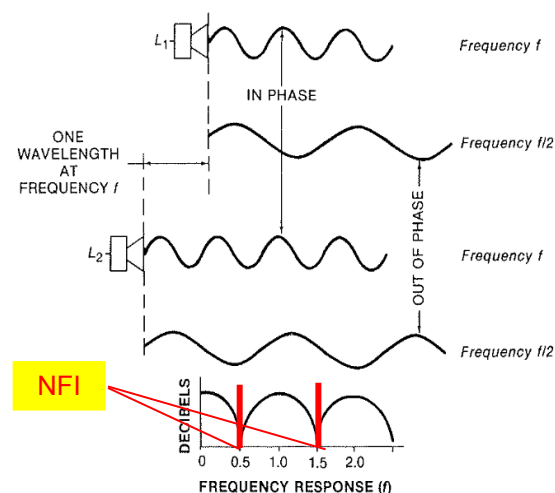
Hornlautsprecher

Beide Lautsprechertypen, der Decken- wie auch der Hornlautsprecher wurden im 2 kHz Oktavband ausgemessen.

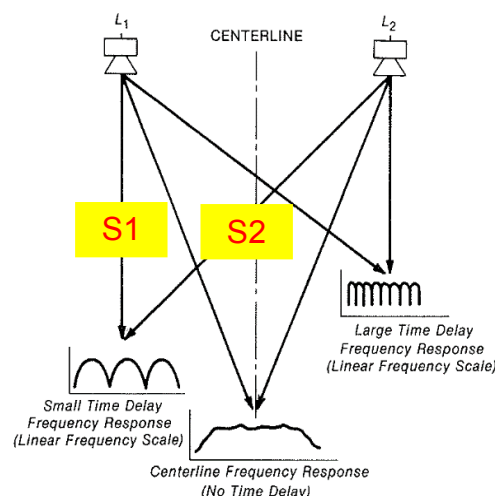
Unterschiede:

- Der Hornlautsprecher hat eine engere, fokussiertere und eine stärker definierte Abdeckung..
- Der Plot dieses Hornlautsprechers ist unsymmetrisch

Interferenzen beim direkten Schall, Kammfilter



(A) Creation of a comb-filter response



(B) Response of split loudspeaker systems

FIGURE 13-28 What generates comb filters.

Kammfilterung sieht man nur bei direktem Schall. Die Frequenzauslöschung hat ein fixes Intervall, das 0-Frequenz Intervall (NFI). Die erste Null erscheint bei der halben Wellenlänge! Das NFI ist eine Funktion der Schallgeschwindigkeit „c“ und der unterschiedlichen Weglänge von der Quelle zum Zuhörer.

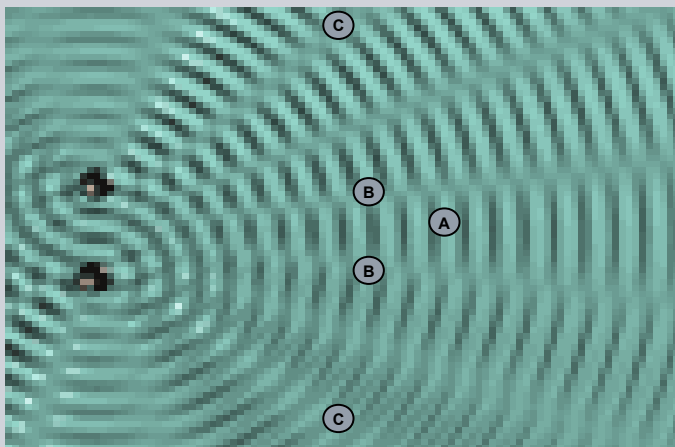
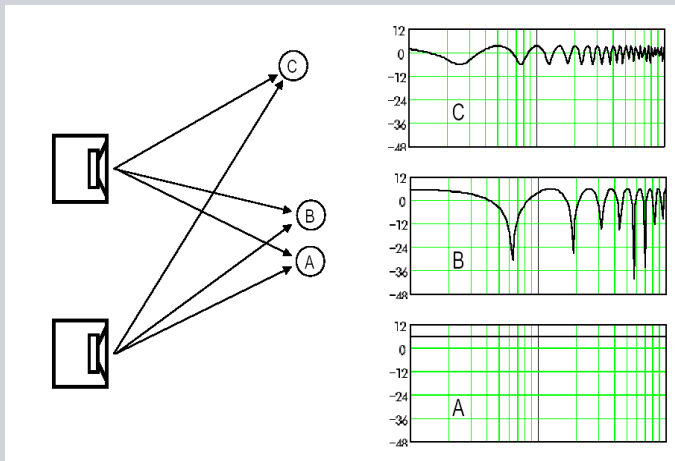
$$\text{NFI} = c/d \text{ wenn } d = |S1 - S2| \text{ und } c = 340\text{m/s}$$

Zwei Quellen strahlen das gleiche Signal aus. Dabei ist es sehr wahrscheinlich, dass am Standort des Zuhörers wegen den unterschiedlichen Weglängen ein Signal der zwei Quellen verzögert ankommt. Unterschiedliche Weglängen bedeuten immer unterschiedliche „Ankunftszeiten“ von Wellen.

Bei bestimmten Frequenzen bedeuten unterschiedliche Ankunftszeiten unterschiedliche Phasen oder eine Phasenverschiebung zwischen den beiden Signalen.

Deshalb können sich beide Signale perfekt summieren, gegenseitig auslöschen oder irgendnetwas etwas dazwischen.

Interferenzen bei direktem Schall



Die obere Grafik zeigt eine typische Situation mit zwei Lautsprecherquellen, die das gleiche Audio-Signal ausstrahlen.

Der Zuhörer „A“ steht genau in der Mitte, das heißt beide Signale haben die gleiche Weglänge von der Quelle zum Hörer. Das heißt auch beide Audio-Signale sind für alle Frequenzen in Phase (direkter Schall).

Um die Mittelachse zwischen zwei Quellen, die beide das gleiche Signal mit gleichem Schalldruckpegel ausstrahlen, ist die Kammfilterung immer schlimmer, da beide in etwa gleich viel Energie, aber trotzdem einen Unterschied in der Weglänge haben. Als Resultat hat man bei verschiedenen Frequenzen bei mehrfachen NFI eine totale Signalauslöschungen (B)

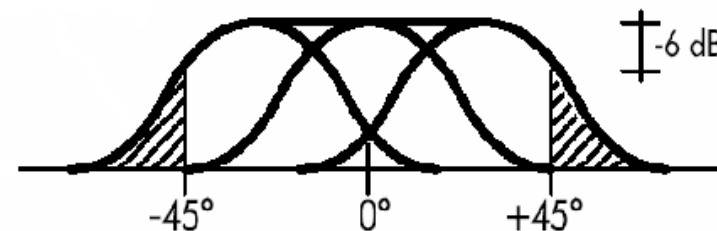
Da Lautsprecher normalerweise einen Richtfaktor haben, nimmt der direkte Schalldruckpegel mit zunehmenden Abstand zur Abstrahlrichtung markant ab. Das bedeutet, dass der Schalldruckpegel des näher positionierten Lautsprechers höher ist, als derjenige der weiter weg ist. Deshalb sind am Punkt „C“ die Signalamplituden beider Quellen nicht mehr gleich groß, so dass eine totale Auslöschung der Signale nicht mehr möglich ist.

Die Kombination von Lautsprecher

Um den Abstrahlwinkel zu erhöhen, werden in der Praxis mehrere Lautsprecher zusammengebaut bzw. gebündelt.

- Tiefe Frequenzen: Lautsprecher werden gebündelt (falls der Abstand innerhalb einer Wellenlänge liegt)
- Hochfrequenz: Ein bestimmtes Gebiet wird sauber abgedeckt

Um grössere Interferenzen und Kammfilterung zu verhindern, müssen sich die Bereiche innerhalb des nominalen Abstrahlwinkels überlappen.



Die Audio-Kette

Auslegungsgrundlagen

Arten von Lautsprechern, deren Eigenschaften und Gebrauch



Übertragung:

- Breitband
- Zwei-Wege
- Gebündelte Lautsprecher (z.B. Arrays)
- Hornlautsprecher mit Treiber

Geometrie, Befestigung:


- Deckenbefestigung
- Wandbefestigung
- Projektoren
- Säulen
- Hörner

Anstelle von akustischen Eigenschaften wie Richtcharakteristik oder Wirkungsgrad, werden Lautsprecher sehr häufig entsprechend der Befestigungsart oder anderen physikalischen Eigenschaften wie Schlagfestigkeit oder den Freilandeignung kategorisiert.

Deshalb ist es manchmal sehr schwierig, den richtigen Lautsprecher zu bestimmen, um das richtige Ergebnis in bestimmten Projekten zu bekommen.

Arten von Lautsprechern, deren Eigenschaften und Gebrauch (1)



| <u>Speaker Type</u> | <u>Properties</u> | <u>Usage</u> |
|--|-------------------|--------------|
| <u>Ceiling, suspended</u>  | | |
| <u>Ceiling</u>  | | |
| <u>Wall-Mount</u>  | | |
| <u>Projector</u>  | | |

Welches sind die Haupteigenschaften und Einsatzgebiete der hier gelisteten Lautsprecher

Diskutieren Sie kurz, ob prinzipielle Unterschiede in der Richtcharakteristik bestehen und versuchen Sie die Gründe dafür zu erklären.

Arten von Lautsprechern, deren Eigenschaften und Gebrauch (2)

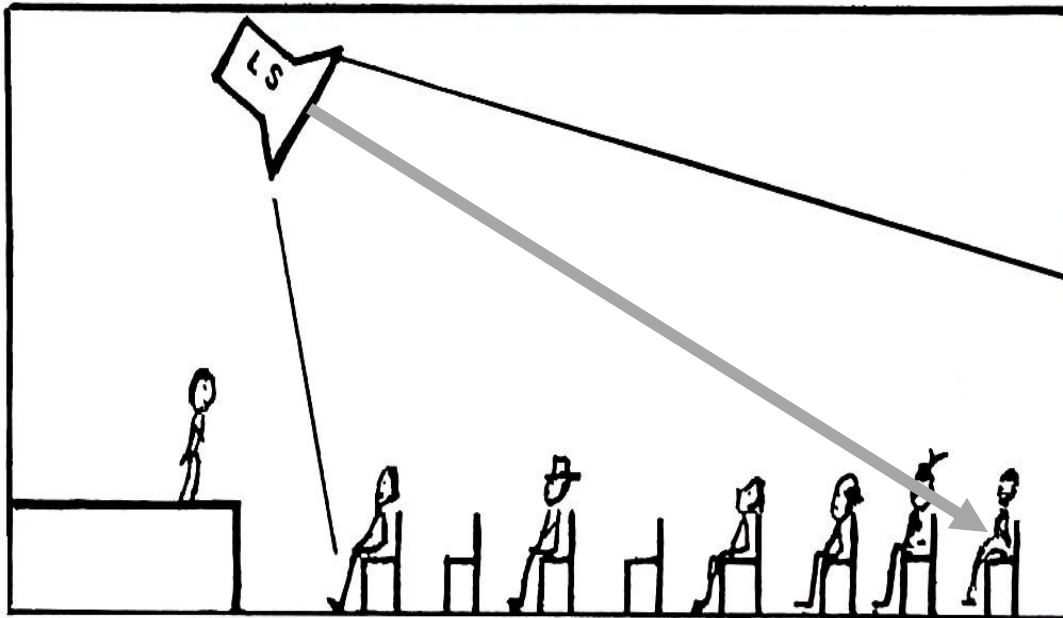


| <u>Speaker Type</u> | <u>Properties</u> | <u>Usage</u> |
|--|-------------------|--------------|
| <u>Horn</u>  | | |
| <u>Column</u>  | | |
| <u>Specials</u>  | | |

Welches sind die Haupteigenschaften und Einsatzgebiete der hier gelisteten Lautsprecher

Diskutieren Sie kurz, ob prinzipielle Unterschiede in der Richtcharakteristik bestehen und versuchen Sie die Gründe dafür zu erklären.

Grundlagen für die Auslegung einer Beschallungsanlage: Zentrale Beschallung



Ist es möglich, mit einem einzigen Lautsprecher eine gleichmäßige Beschallung - von der Bühne bis zur hintersten Reihe - zu bekommen?

Dies ist das Layout einer zentralen Beschallung. Diese Art kann in sehr vielen Fällen sehr einfach in der Installation und effizient zur Erreichen einer guten Beschallung sein.

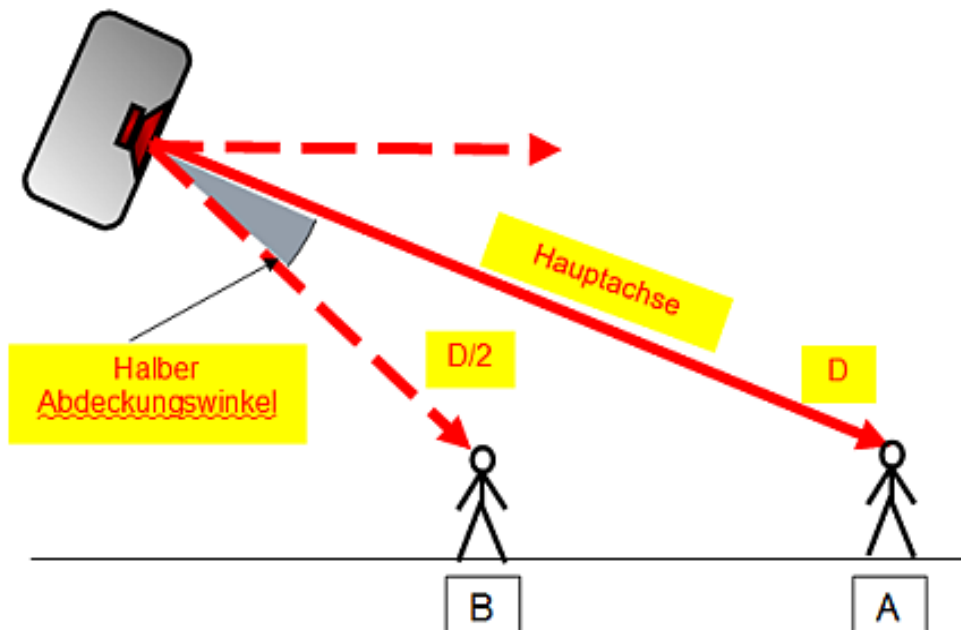
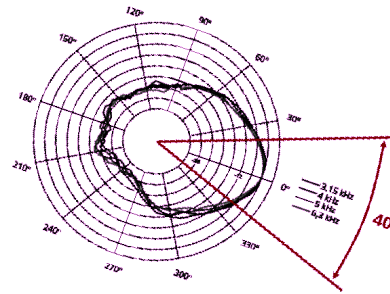
Zu beachten:

- die Hauptachse des Lautsprechers muss auf die hintersten noch direkt zu treffenden Punkt sein (hinterste Reihe)
- dieses Layout vermeiden, falls die hintere Wand den Schall stark zurückwirft (Echo). Dies kommt häufig in großen Räumen vor, die eine reflektierende Rückwand haben oder bei falsch ausgerichteten Lautsprechern (Fokus auf Rückwand)

Layout einer Beschallung: Zentrale Anordnung



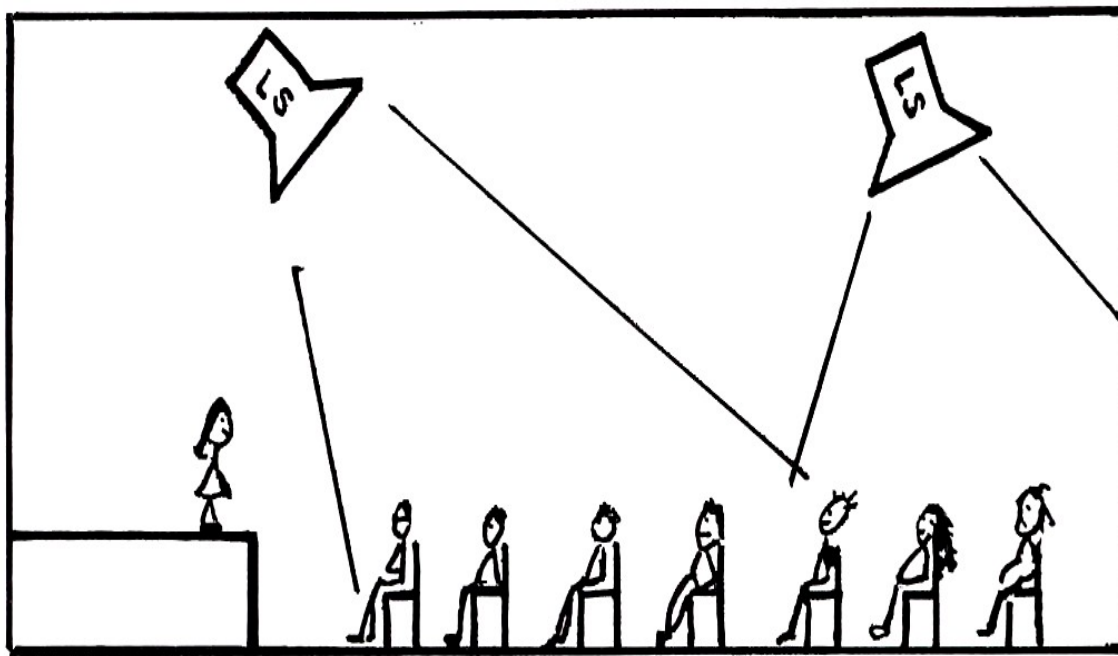
Hörer A und Hörer B
haben den gleichen
Schalldruckpegel!



Hörer B hat 6 dB mehr
Schalldruck als Hörer A, da
der Abstand von der Quelle
halb so groß ist ($D/2$).
Wegen der
Richtcharakteristik hat man
aber auch einen Abfall von
6dB gegenüber der
Hauptachse.

Hörer A hat 6dB mehr
Schalldruck als Hörer B, da
er in der Hauptabstrahl-
achse der Quelle steht, aber
einen Pegelabfall von 6dB
weil der Abstand zur Quelle
doppelt so gross ist, wie bei
B.

Layout einer Beschallung: Bündelung zweier Quellen



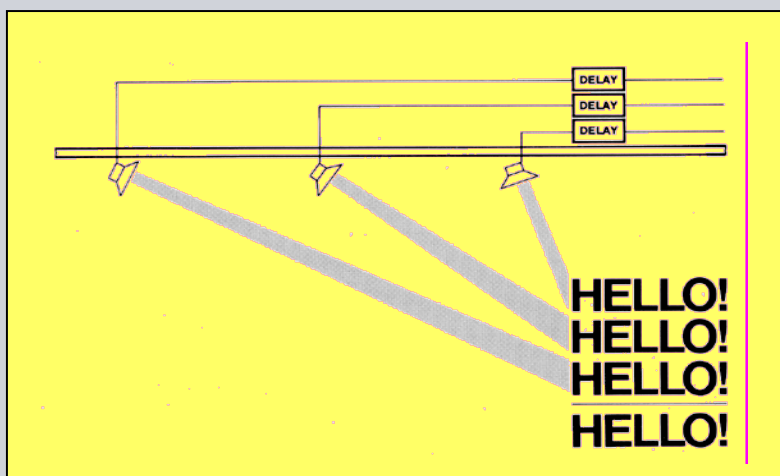
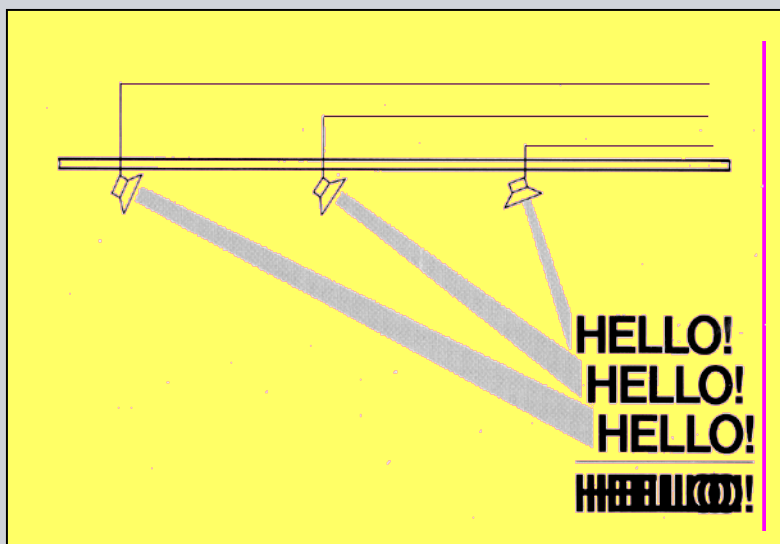
Dies ist ein Layout mit zwei zentralen Lautsprechern, d.h. zwei Lautsprecher bedienen je ein Hörerfeld.

Zu beachten:

- Beide Lautsprecher müssen den gleichen direkten Schalldruck für die zwei Gebiete liefern
- Dieses Layout wird gebraucht, wenn ein einziger Lautsprecher nicht genügend direkter Schalldruck liefert, um das ganze Gebiet abzudecken.
- Die Lautsprecher können auch unterschiedlicher Natur sein. Zum Beispiel, wenn der hintere Teil unter einem Balkon ist (Theater) und im Beschattungsschatten liegt.

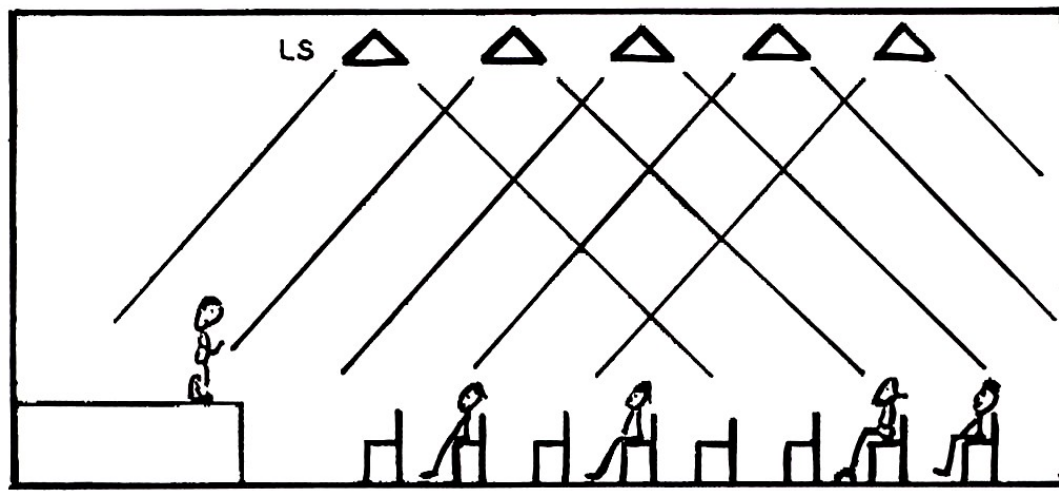
Ist die Ankunftszeit des Signals beim Hörer ein Thema, wenn zwei Lautsprecher das gleiche Signal zur gleichen Zeit abstrahlen?

Layout einer Beschallung mit Verzögerung



Sobald die zu erwartenden Unterschiede der Ankunftszeit der zwei Signale zu lang sind, muss die Signalverzögerung von der einten Quelle eingeplant und berechnet werden um mit dem Delta unterhalb den ca. 35-50 ms Integrationszeit des Gehörs zu bleiben.

Layout einer Beschallung: Verteilte, hängende Beschallung



Diskutiere, welches Gebiet einen Standard-Deckenlautsprecher mit Direktschall abdecken kann, wenn die Raumhöhe bekannt ist.

Zu beachten: der Abstrahlwinkel eines Lautsprechers ist frequenzabhängig und ist nicht der einzige Parameter der für die Berechnung zu berücksichtigen ist (im Notfall immer die 2 kHz Werte gebrauchen).

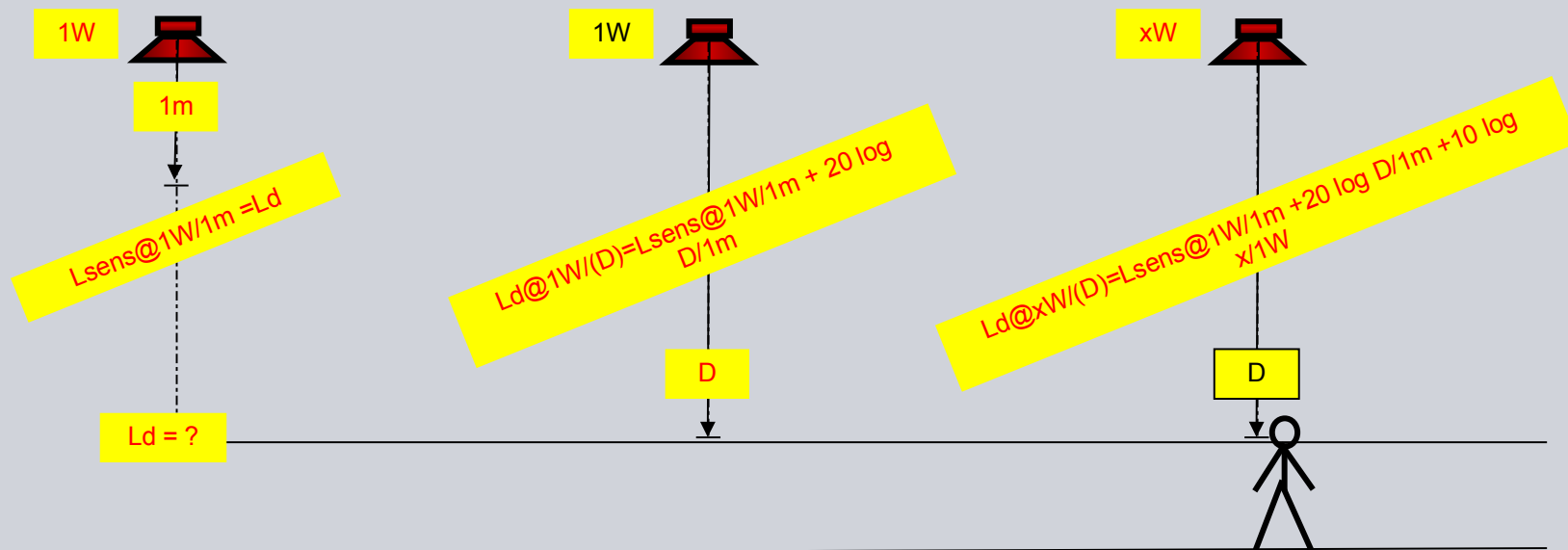
Dies ist ein typisches Beispiel für ein „overhead“ Layout mit verteilter Beschallung mit Deckenlautsprechern.

Für Sprachalarm- und Paging-Systeme wird diese Anordnung meistens gewählt, da Kalkulation, Planung und Installation relativ einfach sind.

Mit einer homogenen und gleichmäßigen Lautsprecheranordnung kann eine relativ gute, ausgeglichene und glatte Abdeckung mit direktem Schall erreicht werden.

Späte Reflektionen von Rück- und Seitenwänden werden minimiert und Hindernisse in Abstrahlrichtung werden normalerweise nicht erwartet.

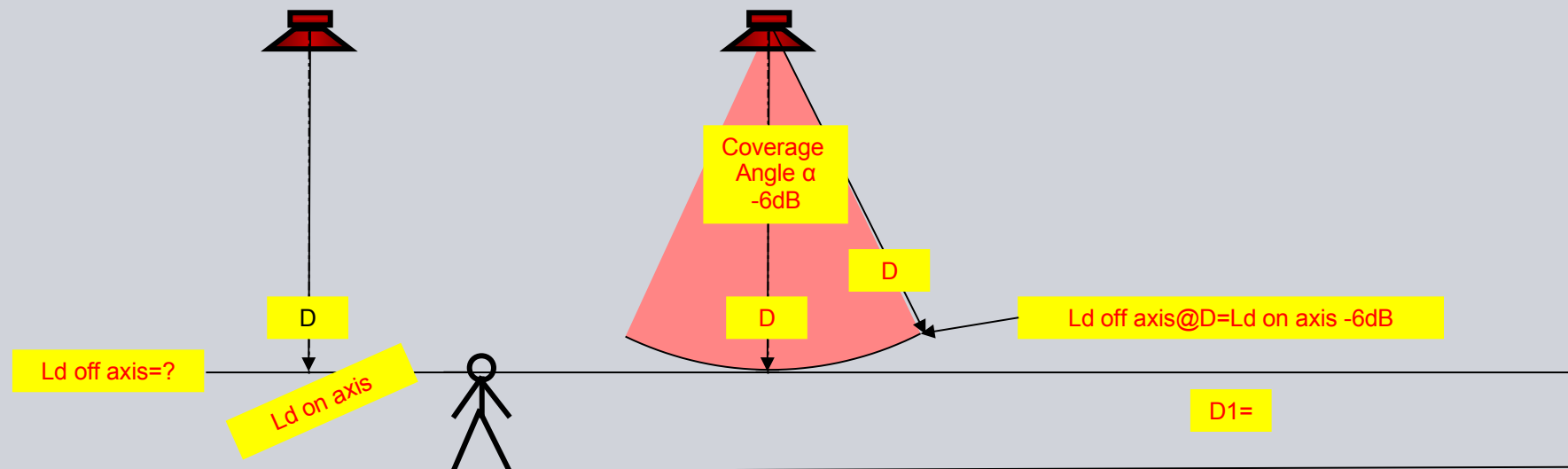
Layout einer Beschallung: Abdeckung, direkter Schalldruckpegel L_d auf der Hauptachse



Um den direkten Schalldruckpegel L_d auf der Hauptachse zu kalkulieren:

- Bestimmen Sie die Lautsprecherempfindlichkeit L_{sens}
- Bestimmen Sie die Schalldämpfung basierend auf dem Abstands-Gesetz
- Passen Sie die Leistung soweit an, dass der benötigte Direktschall L_d erreicht wird

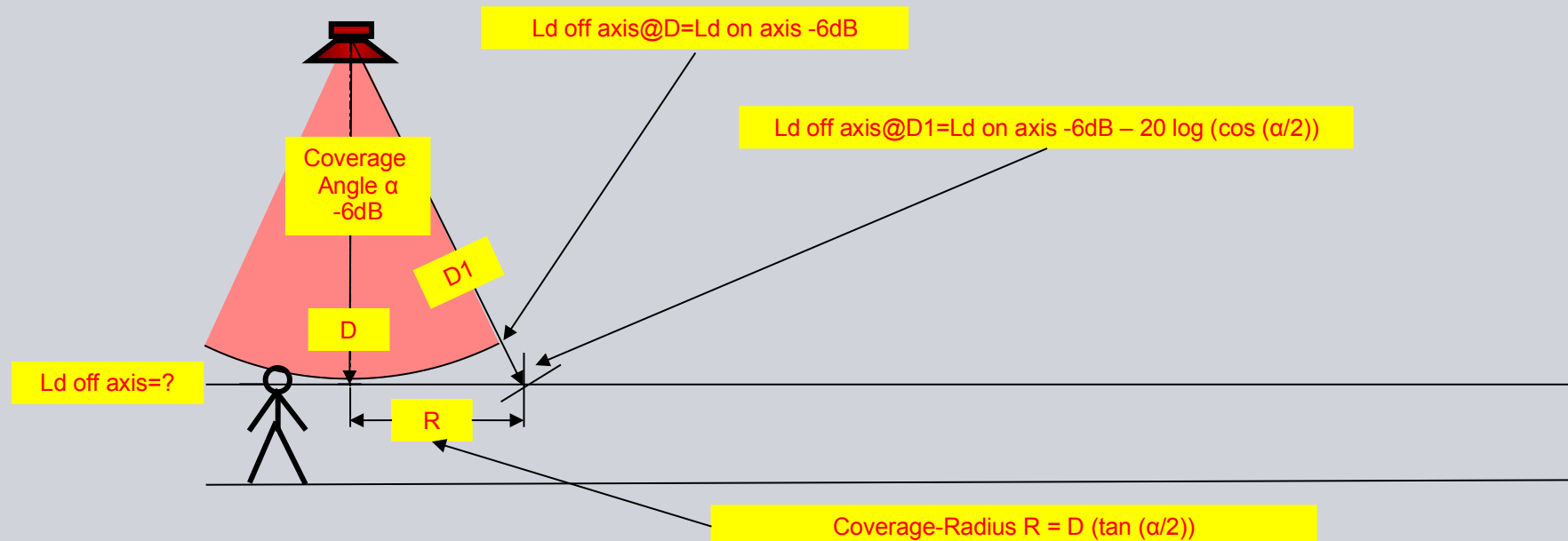
Layout einer Beschallung: Abdeckung, direkter Schalldruckpegel L_d außerhalb der Hauptachse



Um den direkten Schalldruckpegel ausserhalb der Achse zu berechnen:

- Berechnen Sie den direkten Schalldruck L_d auf der Hauptachse
- Berechnen Sie den direkten Schalldruck ausserhalb der Achse indem -6dB addiert werden
- Das Resultat ist eine gute Annäherung für kleine Abstrahlwinkel

L_d ausserhalb der Hauptachsen unter korrekter Berücksichtigung des Abdeckwinkels



Um den effektiven Schalldruck ausserhalb des Achsbereichs zu berechnen:

- Bestimmen Sie L_d ausserhalb der Achse: $L_d@D$ (which is on-axis)
- Korrigieren Sie L_d mit -6dB, da $D1$ (off-axis) länger ist als D (on-axis)
- Falls der Abstrahlwinkel 90° ist, muss $D1$ mit -3 dB angepasst werden
- Und bei einem Abstrahlwinkel von 60° muss $D1$ mit -1 dB angepasst werden
- Der Abdeckradius R für diese Anpassungen kann mit Dreieck-Funktionen berechnet werden.

Workshops

Beispiel zur Auslegung einer SAA