

# BEURTEILUNG VON SCHALLLEISTUNG UND MIKROFONEMPFFINDLICHKEIT

EIN VOLLSTÄNDIGER LEITFADEN ZU AKUSTISCHEN GRUNDLAGEN



# INHALTSVERZEICHNIS

---



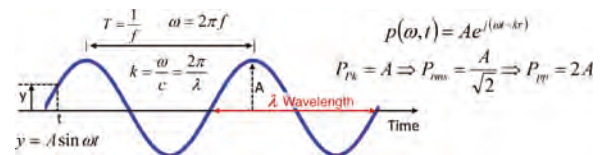
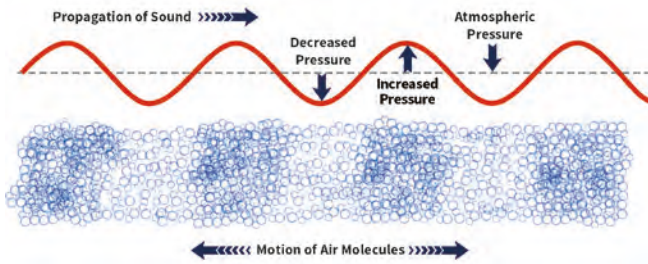
SCHALLDRUCKPEGEL, SCHALLINTENSITÄT UND SCHALLLEISTUNG .....	4 - 5
AKUSTISCHE EIGENSCHAFTEN UND FORMELN .....	6 - 7
KLANGWAHRNEHMUNGS- UND GEWICHTUNGSFILTER .....	8 - 9
MIKROFONE, VORVERSTÄRKER, KABEL UND STROMVERSORGUNG .....	10 - 11
MIKROFONEMPFINDLICHKEIT .....	12 - 13
MIKROFONDYNAMIK UND FREQUENZBEREICH NACH GRÖSSE UND EMPFINDLICHKEIT .....	14 - 15

# SCHALLDRUCKPEGEL, SCHALLINTENSITÄT UND SCHALLEISTUNG

## SCHALLDRUCKPEGEL

Der Schalldruckpegel wird wie folgt definiert:  $SPL = L_p = 10 \log \left( \frac{P_{rms}^2}{P_{ref}^2} \right)$

$$P_{ref} = \begin{cases} 20 \mu Pa & \text{in air} \\ 1 \mu Pa & \text{in water} \end{cases}$$



$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$\lambda$  ist die Wellenlänge (in Metern)  
 $c$  ist die Schallgeschwindigkeit (in Metern/Sekunde)  
 $f$  ist die Frequenz (in Hertz)

## SCHALLINTENSITÄT

- I = Zeitgemittelte Intensität, definiert durch die zeitgemittelte Energieübertragungsgeschwindigkeit durch eine Einheitsfläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T P v dt = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(P v^*) = \frac{|P|^2}{\rho_0 c} = \pm \frac{P_{rms}^2}{\rho_0 c}$$

Näherung für ebene Wellen und Kugelwellen im Fernfeld.

- T = Die Periode eines Zyklus einer monofrequenten harmonischen Schallwelle.
- v = Schallschnelle.
- Das Vorzeichen ( $\pm$ ) bezieht sich auf die Ausbreitungsrichtung.

- Der Schallintensitätspegel (SIL oder  $L_I$ ) ist der Intensitätspegel in Dezibel, wobei  $I_0$  die Referenzintensität ist.

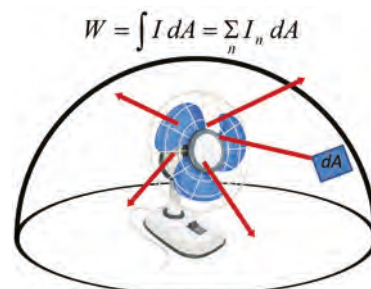
$$SIL = L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

- $I_0$  = Die Bezugsintensität, die die Hörschwelle des menschlichen Gehörs darstellt.

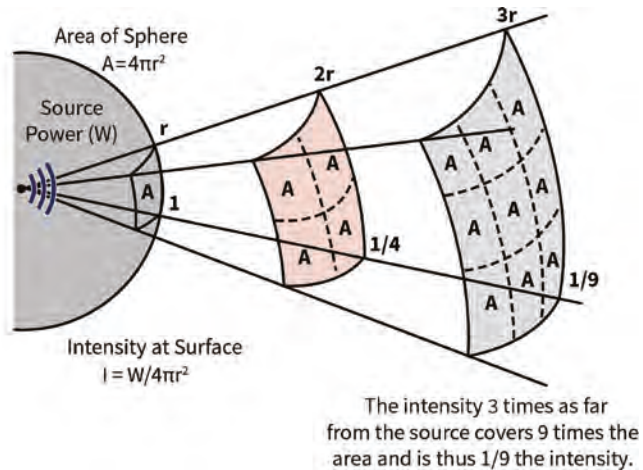
$$I_0 = \frac{p_0^2}{\rho_0 c} = \frac{(20 \times 10^{-6} Pa)^2}{\approx 400 \frac{N \cdot s}{m}} = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

## SCHALLEISTUNG

- Die Schalleistung (W) ist die Energieübertragungsgeschwindigkeit pro Zeiteinheit. Sie stellt die gesamte Energie dar, die von einer Schallquelle innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls abgestrahlt wird.



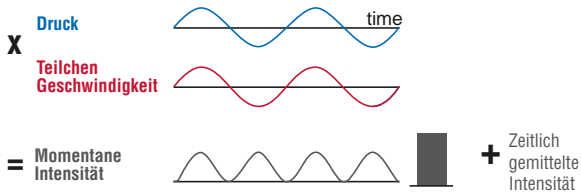
## QUADRATISCHES ABSTANDSGESETZ



- $W$  = Schallleistung, definiert als die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit der Schallenergieübertragung von der Quelle.
- $I$  = Schallintensität, definiert als die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit der Schallenergieübertragung durch eine Flächeneinheit, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

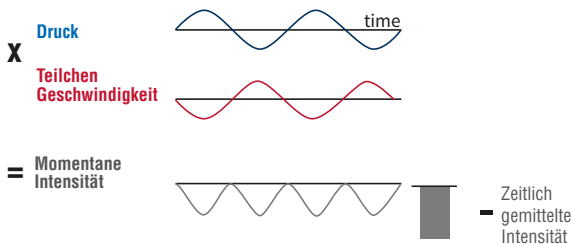
## DRUCK- UND TEILCHENGESCHWINDIGKEITSPHASE

### PHASENVERSCHIEBUNG $0^\circ$



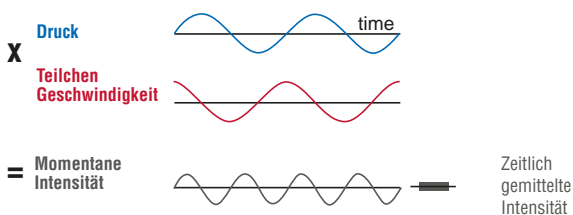
- Die durchschnittliche Schallintensität ist positiv
- Die Welle breitet sich in positiver Richtung aus
- Aktives Schallleistungsfeld

### PHASENVERSCHIEBUNG $180^\circ$



- Die durchschnittliche Schallintensität ist negativ
- Die Welle breitet sich in negativer Richtung aus
- Aktives Schallleistungsfeld

### PHASENVERSCHIEBUNG $90^\circ$



- Die durchschnittliche Schallintensität ist Null
- Die Welle breitet sich nicht aus (stehende Welle)
- Aktives Schallleistungsfeld

# AKUSTISCHE EIGENSCHAFTEN UND FORMELN

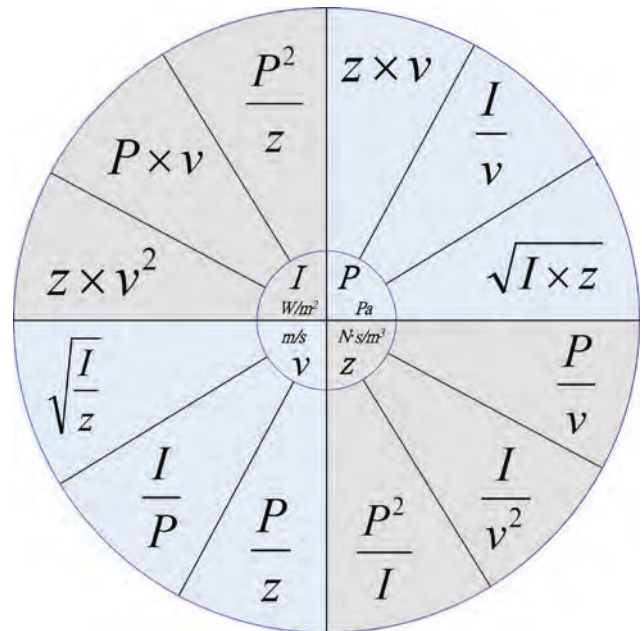
## EIGENSCHAFTEN UND GESETZE

$P$  = Schalldruck, definiert als die aus der Schallausbreitung resultierende Kraft pro Flächeneinheit. Die Einheit des Internationalen Einheitensystems (SI) für Druck ist Pascal (Pa). Ein Pascal ist gleich einem Newton pro Quadratmeter ( $N/m^2$ ), wobei das Newton die SI-Einheit für die Kraft ist.

$I$  = Schallintensität, definiert als die zeitlich gemittelte Geschwindigkeit der Schallenergieübertragung durch eine Flächeneinheit, senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Die Intensität kann in SI-Einheiten als Watt (W) pro Quadratmeter ausgedrückt werden, wobei Watt die SI-Einheit für die Leistung ist.

$v$  = Schallschnelle, definiert als die Größe und Richtung einer Änderung der Teilchenposition pro Zeiteinheit. Ein Teilchen ist ein infinitesimales Volumen des Mediums, durch das sich der Schall ausbreitet. Die SI-Einheit für die Geschwindigkeit ist Meter pro Sekunde.

$z$  = Spezifische akustische Impedanz, definiert als das Verhältnis von Druck zu Teilchengeschwindigkeit. Sie ist eine Eigenschaft des Mediums und des Wellentyps, der sich ausbreitet. Die spezifische akustische Impedanz kann in SI-Einheiten als Newtonsekunden pro Kubikmeter ausgedrückt werden.





Acoustic Properties of Fluids					
Liquid	Density	Ratio of Specific Heats	Modulus Bulk	Sound Speed	Characteristic Impedance
	kg/m <sup>3</sup>		Pa x 10 <sup>9</sup>	m/s	Pa·s/m x 10 <sup>6</sup>
	$\rho_0$	$\gamma$	$B_T$	$c = (\gamma \cdot B_T / \rho_0)^{1/2}$	$\rho_0 c$
Fresh Water at 20°C	998	1.004	2.18	1481	1.48
Salt Water at 13°C	1026	1.010	2.28	1500	1.54
Turpentine at 20°C	870	1.27	1.07	1250	1.11
Mercury at 20°C	13600	1.13	25.3	1450	19.7
Gas	Density	Ratio of Specific Heats	Specific Heat	Sound Speed	Characteristic Impedance
	kg/m <sup>3</sup>		J/kg·K	m/s	Pa·s/m x 10 <sup>6</sup>
	$\rho_0$	$\gamma$	$C_p$	$c = (\gamma \cdot P_0 / \rho_0)^{1/2}$	$\rho_0 c$
Air at 20°C	1.21	1.40	1.01	343	415
Air at 0°C	1.29	1.40	---	332	429
Steam at 100°C	0.6	1.32	---	405	242
O <sub>2</sub> at 0°C	1.43	1.40	0.91	317	453
CO <sub>2</sub> at 0°C	1.98	1.30	0.84	258	512
H <sub>2</sub> at 0°C	0.090	1.41	14.2	1270	114
Xenon at 20°C	5.76	1.65	0.16	178	1025

- $\rho_0$  = density
- Gases:  $\gamma$  = ratio of specific heats,  $P_0$  = total pressure
- Liquids:  $\gamma$  = ratio of specific heats,  $B_T$  = isothermal bulk modulus

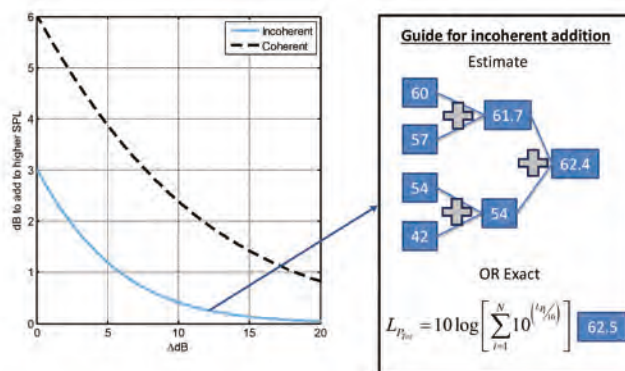
$$c_{Liquid} = \sqrt{\frac{\gamma B_T}{\rho_0}} = \text{Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten}$$

$$c_{Gas} = \sqrt{\frac{\gamma P_0}{\rho_0}} = \text{Schallgeschwindigkeit in Gasen}$$

## DEZIBEL-ADDITION – KOHÄRENT INKOHÄRENT

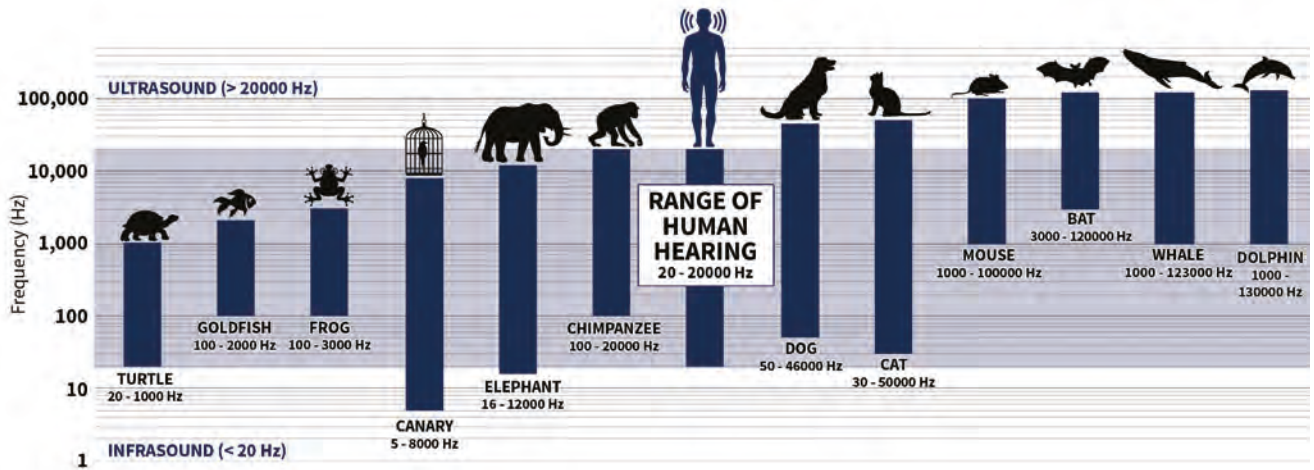
Kohärente Signale besitzen die gleiche Frequenz und die gleiche konstante relative Phase. Die gestrichelte schwarze Linie in der Grafik rechts wird zur Abschätzung des Schalldruckpegels mehrerer kohärenter Schallquellen verwendet, wenn die relative Phase zwischen ihnen null Grad beträgt.

Inkohärente Signale besitzen unterschiedliche Frequenzen oder zufällige Unterschiede in der relativen Phase. Die blaue durchgezogene Linie in der Grafik rechts wird zur Abschätzung des Schalldruckpegels mehrerer inkohärenter Schallquellen verwendet.

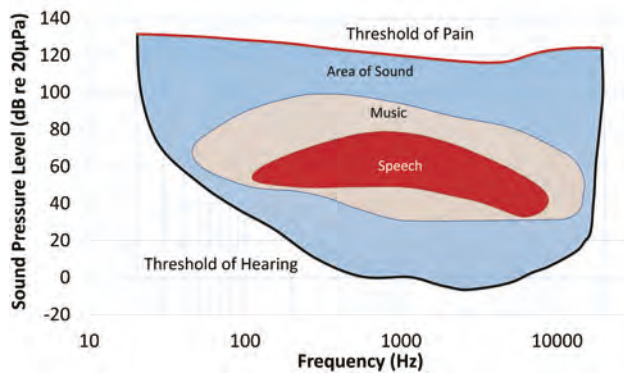


# KLANGWAHRNEHMUNGS- UND GEWICHTUNGSFILTER

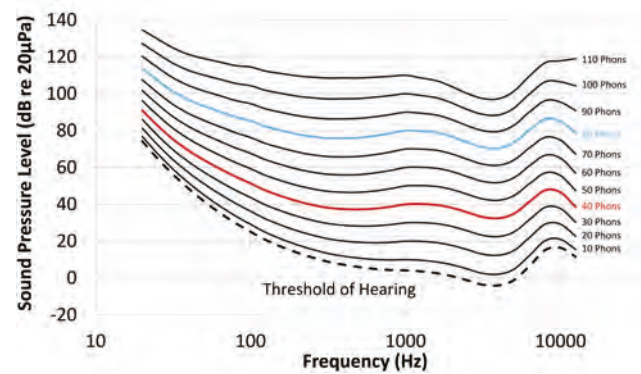
## FREQUENZBEREICHSSPEKTRUM



## HÖRFLÄCHE DES MENSCHLICHEN OHRS

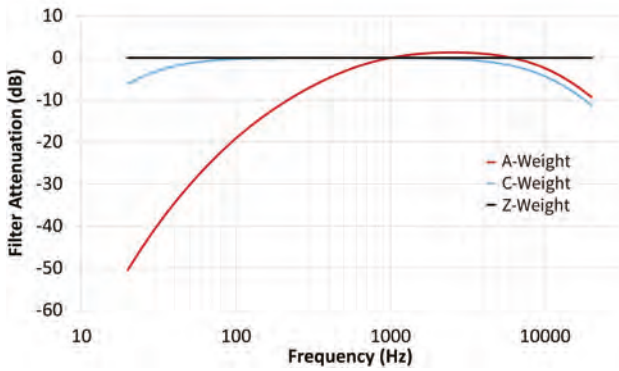


## KONTUREN GLEICHER LAUTSTÄRKE





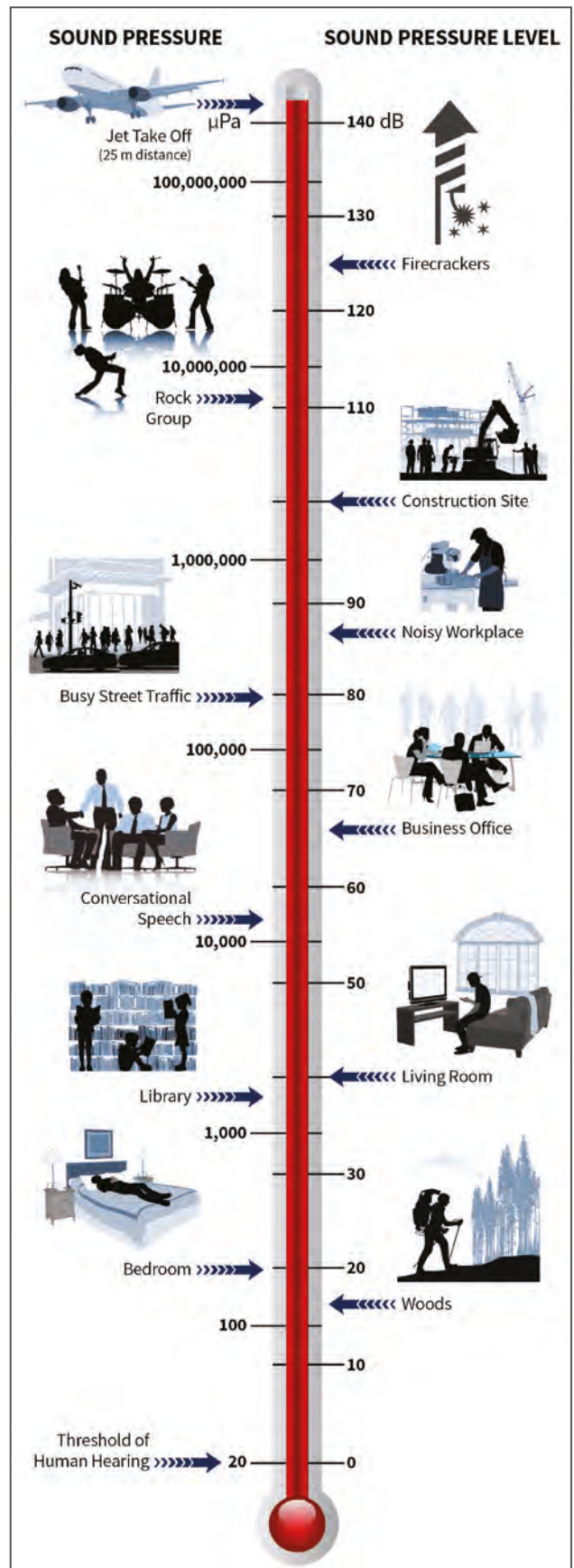
## GÄNGIGE GEWICHTUNGSFILTER



Die A-Gewichtung stellt dar, wie der Mensch den mittleren Schalldruckpegel bei verschiedenen Frequenzen wahrnimmt. Die C-Gewichtung stellt dar, wie der Mensch hochamplitudige Schalldruckpegel wahrnimmt. Die Z-Gewichtung ist eine lineare oder ungewichtete Darstellung von Schalldruckpegeln.

Limits for Permissible Noise Exposure		
Time to 100% Noise Dose	OSHA (US) Exposure Level	EU Exposure Level
8 Hours	90 dBA	87 dBA
6 Hours	92 dBA	88 dBA
4 Hours	95 dBA	90 dBA
3 Hours	97 dBA	91 dBA
2 Hours	100 dBA	93 dBA
1.5 Hours	102 dBA	94 dBA
1 Hour	105 dBA	96 dBA
30 Minutes	110 dBA	99 dBA
15 Minutes	115 dBA	102 dBA

Die Lärmdosis ist der gemessene Schallbelastungspegel, bezogen auf einen 8-stündigen Arbeitstag. Die Belastung durch Schalldruck ist geregelt.



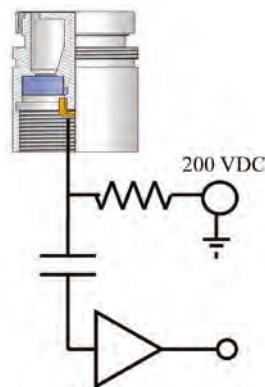
# MIKROFONE, VORVERSTÄRKER, KABEL UND STROMVERSORGUNG

## EXTERN POLARISIERT UND VORPOLARISIERT

Extern polarisierte Mikrofone:

- Erfordern 200 Volt Spannung direkt an die Rückplatte angelegt.
- Erfordern eine spezielle Signalaufbereitung, die den Verstärker mit Strom versorgt und eine Polarisationsspannung, die für den Betrieb des Mikrofons erforderlich ist. Dadurch sind modulare Systeme, wie beispielsweise Schallpegelmesser, schwer zu betreiben.
- Erfordere ein Mehrdrahtsystem. Jeder Draht im Kabel liefert Strom, Erdung, Signal und Polarisation vom Signalkonditionierer zum Vorverstärker.

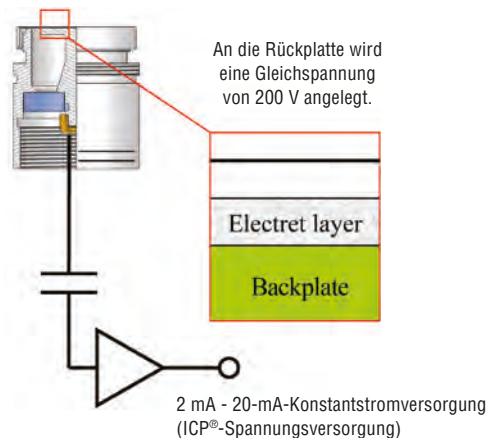
Extern polarisiert



Vorpolarisierte Mikrofone:

- Verwenden eine permanente Spannung von -200 Volt, die in das Elektret auf der Rückplatte eingebracht wird.
- Vereinfachen den Aufbau des Vorverstärkers und ermöglichen ICP®-Zweidraht-Mikrofonsysteme.
- Können mit ICP®-Systemen kombiniert werden, die problemlos mit anderen Prüf- und Messsensoren ausgetauscht werden können, sowie mit Multimode-Vorverstärkern, die mit extern polarisierten Mikrofonen bei abgeschalteter Polarisationsspannung verwendet werden.
- Verursachen im Allgemeinen niedrigere Kosten pro Kanal als extern polarisierte Systeme.
- Können mit vielen verfügbaren Datenerfassungssystemen ohne zusätzliche Signalaufbereitung verwendet werden.

Vorpolarisiert



## MESSKETTEN



**EXTERNALLY POLARIZED MICROPHONE SYSTEM**



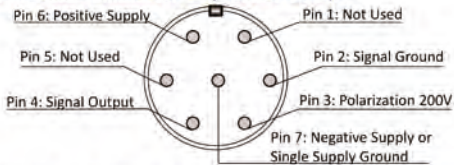
**PREPOLARIZED MICROPHONE SYSTEM**



**PHANTOM POWERED MICROPHONE SYSTEM**

## STECKER-ANSCHLUSBELEGUNGEN

### 7-Pin LEMO® Connector 1B (Outside View)

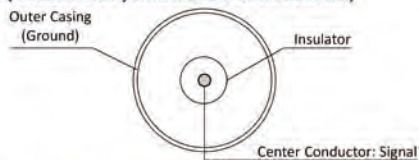


Voltage Supply: Single 28V – 120V or Dual  $\pm 14V - \pm 60V$

Extern polarisiert (200 V)



### BNC (Outside View, SMB and 10-32 not shown)

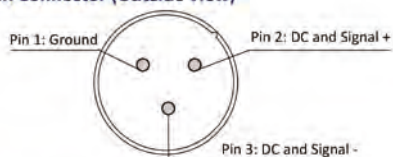


Voltage Supply: Typically 5 – 14 VDC

Vorpolarisiert (0 V)



### 3-Pin XLR Connector (Outside View)



Voltage Supply: 48 VDC, 24 VDC, or 12 VDC

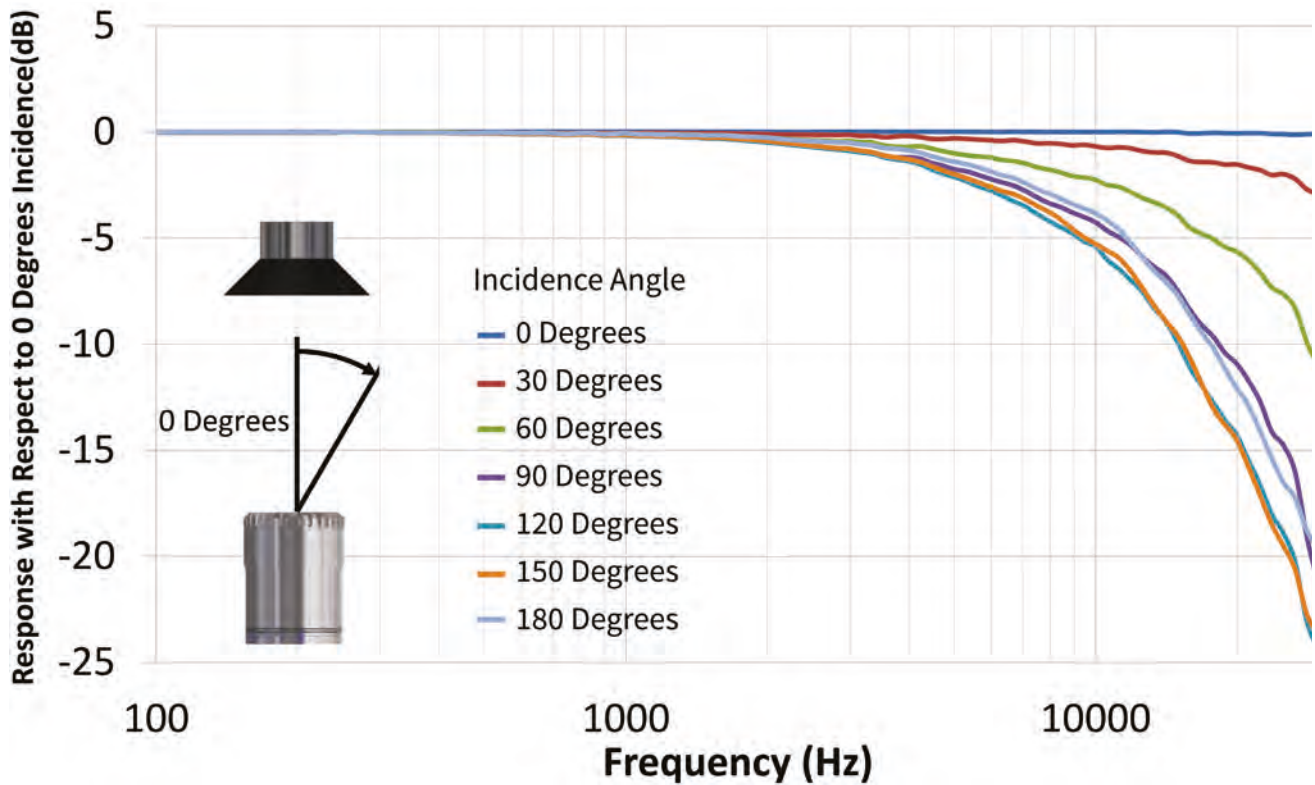
Phantomspiesung (48 V)





# MIKROFONEMPFINDLICHKEIT

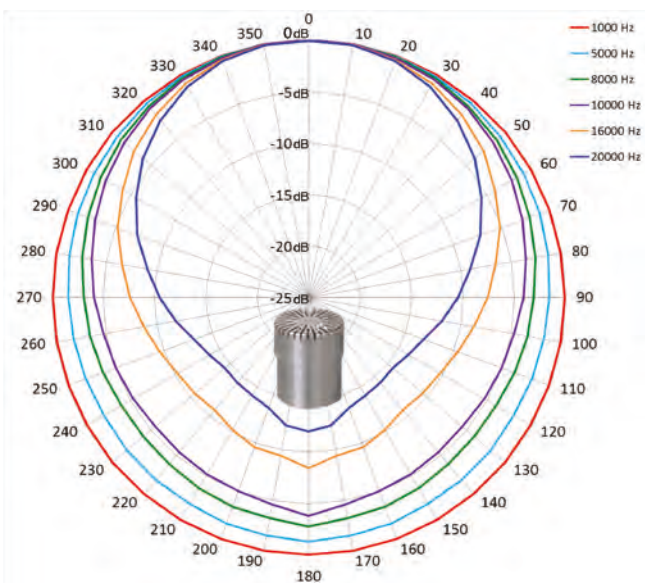
## 1/2"-FREIFELD-MIKROFONSYSTEM MIT RICHTCHARAKTERISTIK



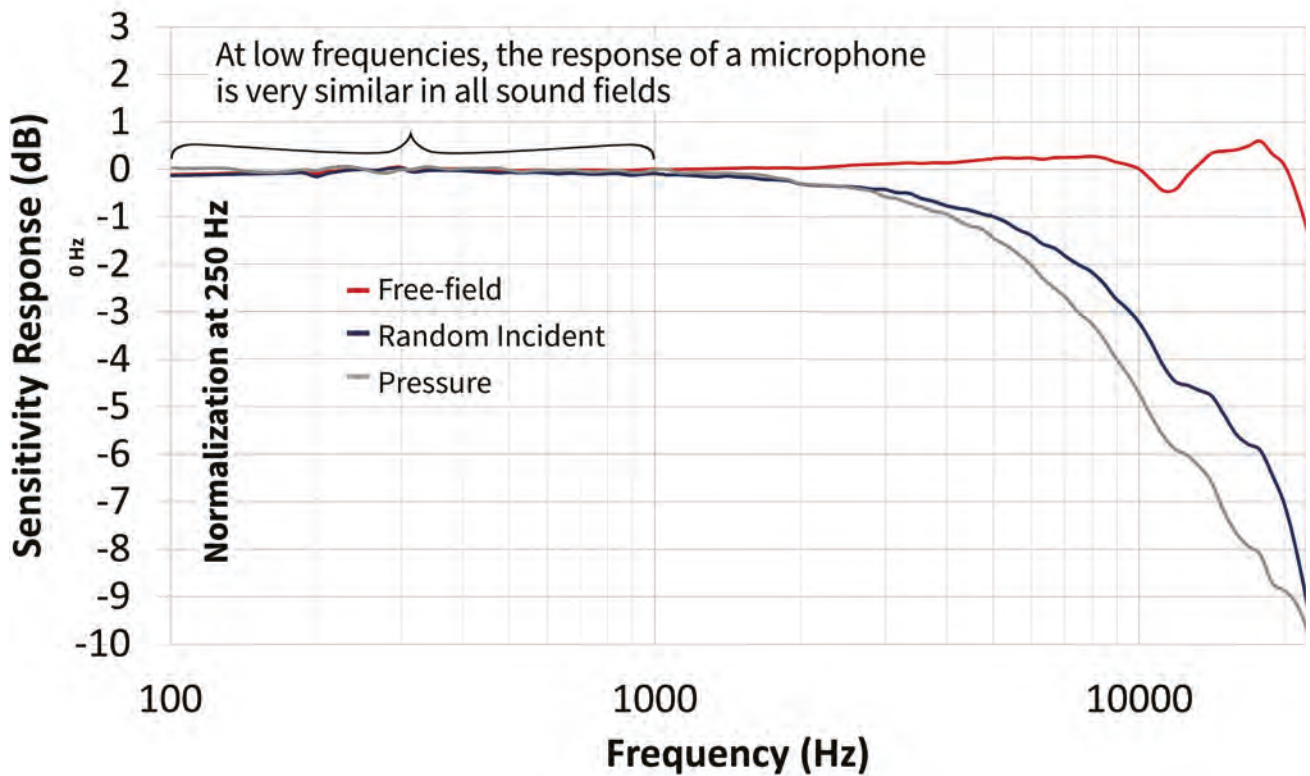
## RICHTCHARAKTERISTIK

- Die Richtcharakteristiken zeigen die Änderung der Empfindlichkeit des Sensors als Funktion des Azimutwinkels bezogen auf die Empfindlichkeit bei einem Einschallwinkel von Null Grad.
- Mikrofone, die im Vergleich zur Wellenlänge des Schalls sehr klein sind, sind eher omnidirektional ausgelegt. Bei niedrigen Frequenzen (unter 2 kHz) sind nahezu alle Mikrofone wegen der erheblich größeren Wellenlängen omnidirektional. Die Wellenlänge des Schalls in Luft bei 2 kHz und bei Standardtemperatur und -luftdruck beträgt 17,2 cm. Dies entspricht ungefähr dem 14-fachen Durchmesser eines 1/2"-Mikrofons.
- Ein üblicher Parameter zur Charakterisierung von Richtcharakteristiken ist die Strahlbreite. Die Strahlbreite in Grad wird in der Regel als Winkel zwischen den Punkten halber Leistung (-3 dB) der Hauptkeule angegeben. Wenn die von der Quelle abgestrahlte Schalleistung konstant ist, wird das Richtdiagramm bei höheren Frequenzen schmäler.

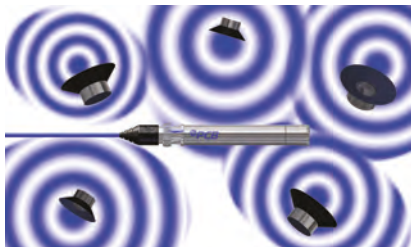
## TYPISCHES MIKROFON-POLARDIAGRAMM



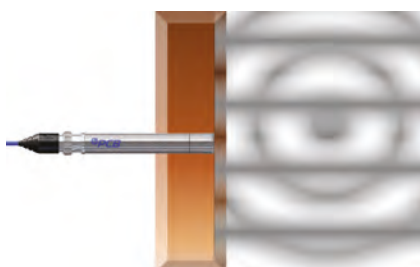
## TYPISCHE REAKTIONEN EINES ½"-FREIFELDMIKROFONS



Die **Freifeldantwort** ist die Antwort eines Mikrofons in Bezug auf eine einzelne Quelle senkrecht zur Mikrofonmembran in einem freien (nicht reflektierenden) Schallfeld.



Die **zufallsbedingte Antwort** ist die Antwort eines Mikrofons in Bezug auf ein Schallfeld mit mehreren Quellen in mehreren Richtungen.



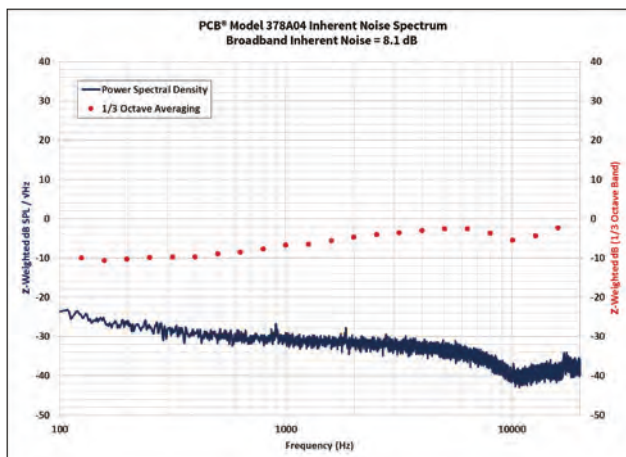
Die **Druckempfindlichkeit** ist die Antwort eines Mikrofons, wenn es wie ein Druckwandler verwendet wird, der bündig in eine Wand, einen Koppler oder einen Kanal eingebaut ist.



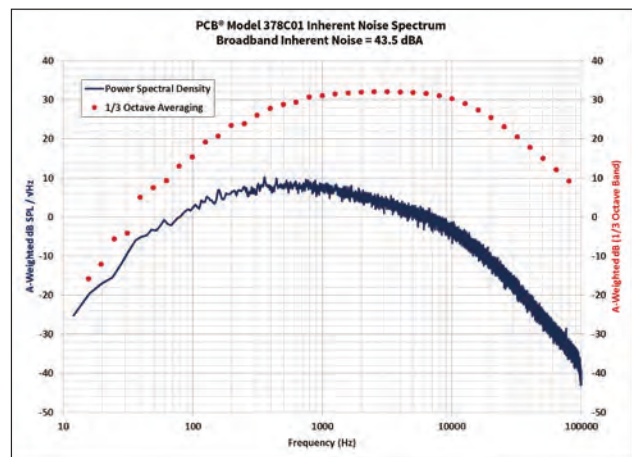
# MIKROFONDYNAMIK UND FREQUENZBEREICH NACH GRÖSSE UND EMPFINDLICHKEIT

## EIGENRAUSCHEN

1/2"-Mikrofon, Z-gewichtet (linear)

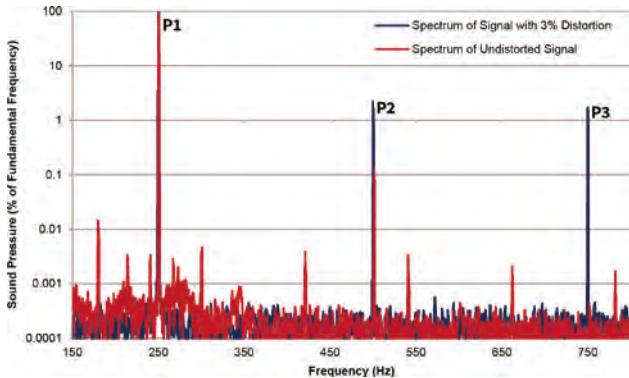


1/4"-Mikrofon, A-gewichtet



- Die spektrale Leistungsdichte stellt den mittleren quadratischen Wert der Energie pro Frequenzeinheit dar, unabhängig von der Bin-Breite.
- Oktavbandwerte stellen den mittleren quadratischen Wert der Energie in einer Gruppe von Frequenzen dar. Die Bandbreiten werden durch eine Mittenfrequenz mit Unter- und Obergrenze festgelegt. Die Norm ISO 266:1997 (E) legt einen internationalen Standard der bevorzugten Oktavbandfrequenzen für akustische Messungen fest.
- Das Breitband-Eigenrauschen liefert einen einzigen quadratischen Mittelwert, der die Energie über die gesamte gemessene Bandbreite darstellt.
- Die Oktavbandwerte steigen mit zunehmender Frequenz, da die Breite des Oktavbands aus einem konstanten Prozentsatz der Mittenfrequenz und damit der Anzahl der Frequenzen innerhalb jedes Oktavbandes besteht.
- Breitband- und Oktavbandwerte sind größer als die Werte der spektralen Leistungsdichte, da mehr Energie im Band vorhanden ist.

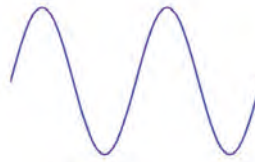
## KLIRRFAKTOR



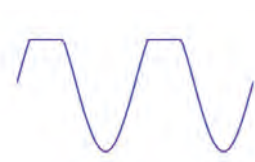
- Der Ausgangsspannungsbereich einiger Vorverstärker kann dazu führen, dass das System Bereiche abschneidet (Clipping), wodurch der nutzbare hohe Amplitudenbereich des Mikrofons reduziert wird. Der Clipping-Effekt tritt schlagartig auf, wenn die maximale Ausgangsspannung des Vorverstärkers überschritten wird.
- Die obere Grenze des Dynamikbereichs wird üblicherweise entweder durch den Schalldruckpegel definiert, der erforderlich ist, um einen Klirrfaktor von 3 % des Systems zu erzeugen, oder durch den Schalldruckpegel, der erforderlich ist, um die Ausgangsspannungsgrenze des Vorverstärkers zu überschreiten, je nachdem, was zuerst eintritt.

- Der Klirrfaktor (THD) eines Systems ist das Verhältnis der quadratischen Mittelsumme aller Leistungswerte aller harmonischen Frequenzen zur Leistung der Grundfrequenz.
- P1 ist der mit der betreffenden Grundfrequenz verbundene Schalldruck, und P2, P3 usw. sind die mit jeder nachfolgenden harmonischen Verzerrung verbundenen Schalldrücke.
- Bei Mikrofonen wird der 3%ige Klirrfaktor oft in der Spezifikation als Hinweis auf den oberen nutzbaren Schalldruck angegeben. Der Klirrfaktor wird durch den Vorverstärker beeinflusst, der den Schalldruckpegel an den Stellen verändert, an denen ein Klirrfaktor von 3 % auftritt.
- Ein Mikrofon kann über den 3%-Klirrfaktor hinaus verwendet werden. Die Ausgabe wird jedoch nichtlinearer und die gemessenen Schalldruckpegel werden weniger genau.

Sinuskurve



Ausschnitt



## MIKROFONVERGLEICH

