

Praxis-Seminar Audio-Basics, SAA20-ACC-1, Teil 1

Crash-Kurs mit Workshops für Planung und Auslegung,
Inbetriebnahme und Einmessung/Einstellung von
Beschallungsanlagen und Sprachalarmierungsanlagen, SAA nach
VDE 0833-4 und Elektroakustische Notfallwarnsysteme, EANWS
nach EN 50849

Übersicht

Teil 1 Audio Grundlagen

Einführung in die Begriffe

dezi-Bel

Was ist Schall

Ausbreitung von Schall

Im Freien: Ein Spezialfall

Raumakustik

Verständlichkeit

Teil 2 Die wesentlichen Elemente der Audio-Kette, Funktion und Auslegung

Komponenten und Zweck

Akustische Quellen

Elektrische Quellen

Mikrophone, Sprechstellen

Verkabelung und Audiopegel

Signalübertragung und Bearbeitung

Verstärker- und Lautsprecherverkabelung

Lautsprecher

Auslegungsgrundlagen (Engineering & Design)

Grundlagen

Einführung in die Begriffe

Überblick über die verschiedenen Alarm-Systeme



Alarmierungseinrichtungen

Brandmeldeanlagen (BMA)

Gefahrenmeldeanlagen (GMA)

Norm: DIN VDE 0833

Anwendung: DIN 14675

Produkte: EN 54 ...

Brandmeldeanlagen (BMA)

Akustische Signalgeber

Norm: EN 54-3

Anwendung: DIN VDE 0833-2

Ohne Sprache

Elektroakustische Notfallwarnsysteme (ENS)

System:

IEC 50849,

EN 50849,

DIN VDE 0828 (wurde zurückgezogen)

Sprachalarmanlagen (SAA)

System: DIN VDE 0828

Anwendung:

DIN VDE 0833-4

Produkt: EN 54-16

Mit Sprache

Überblick über die verschiedenen Alarm-Systeme



Elektroakustische Notfallwarnsysteme (ENS)

Sprachalarmanlagen (SAA)

**Es gelten immer
und für jede
Anlage
unabhängig von
Normen und
Richtlinien die
„allgemein
anerkannten
Regeln der
Technik“**

Signalpegel 10 dB über Störpegel

$STI \geq 0,50$ im Alarmierungsfall

$ALCons \leq 12\%$ im Alarmierungsfall

Raumakustik ist extrem wichtig

A/B Verkabelung, „Lautsprecher mit Feuertopf“

Planung in Abstimmung mit Brandschutzkonzept

Linien in Abstimmung mit Brandabschnitten

Linien in Funktionserhalt bis in Brandabschnitt

Überwachung der Anlagenfunktionen

Wartung, Prüfung

Abnahme durch

**Sachverständige (behördlich anerkannte),
Prüfingenieur**

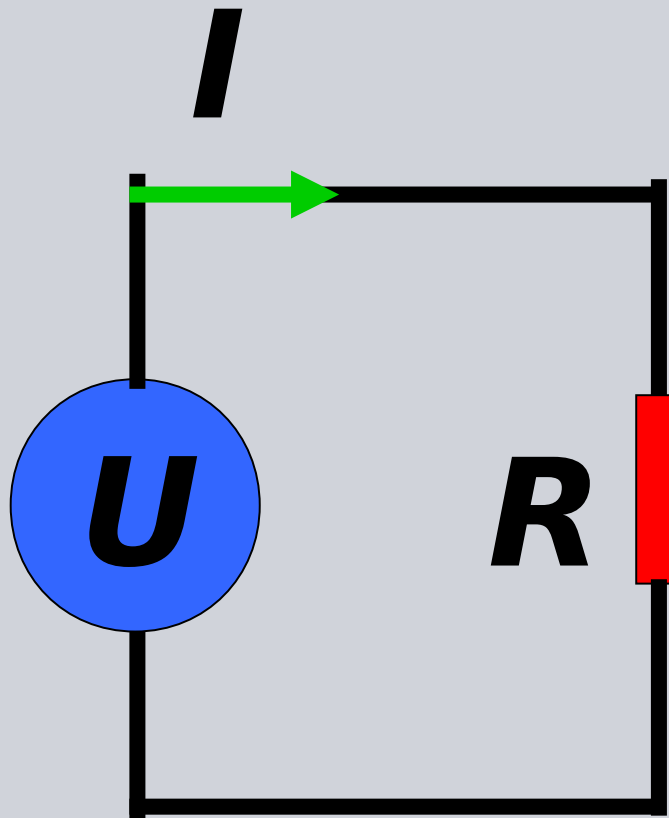
(Brandschutzdienststelle)

(Anerkennung durch Versicherer)

Grundlagen

dezi-Bel, [dB]

Ohmsches Gesetz: U = Spannung,
 R = Widerstand, I = Stromstärke, P = Leistung

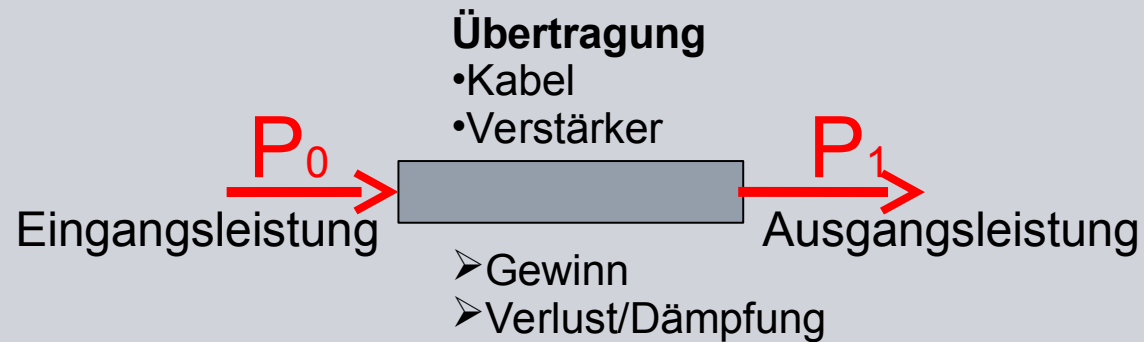


$$P = I^2 \times R$$

$$P = U \times I$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Ursprünglich hat das dezi-Bel ein
Leistungsverhältnis beschrieben



$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$$

Das dezi-Bel wird im
Allgemeinen verwendet!

$$B = \log \frac{P_1}{P_0}$$

Wegen der sehr kleinen Auflösung
wird das Bel nicht mehr verwendet!

Das dB beschreibt zwar ein Leistungsverhältnis,
aber auch ein Amplitudenverhältnis



$$\text{dB} = 10 \log \frac{\frac{U_1^2}{R}}{\frac{U_0^2}{R}}$$

$$\text{dB} = 10 \log \frac{U_1^2}{U_0^2}$$

$$\text{dB} = 20 \log \frac{U_1}{U_0}$$

$$\text{dB} = 10 \log \frac{R I_1^2}{R I_0^2}$$

$$\text{dB} = 10 \log \frac{I_1^2}{I_0^2}$$

$$\text{dB} = 20 \log \frac{I_1}{I_0}$$

Das dezi-Bel [dB] Amplituden als Leistungsverhältnis:



Leistungsverhältnis!

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_1}{P_0}$$

Spannung als
Leistungsverhältnis!

$$\text{dB} = 20 \log \frac{U_1}{U_0}$$

Stromstärke als
Leistungsverhältnis!

$$\text{dB} = 20 \log \frac{I_1}{I_0}$$

Die Umwandlung in Dezibel

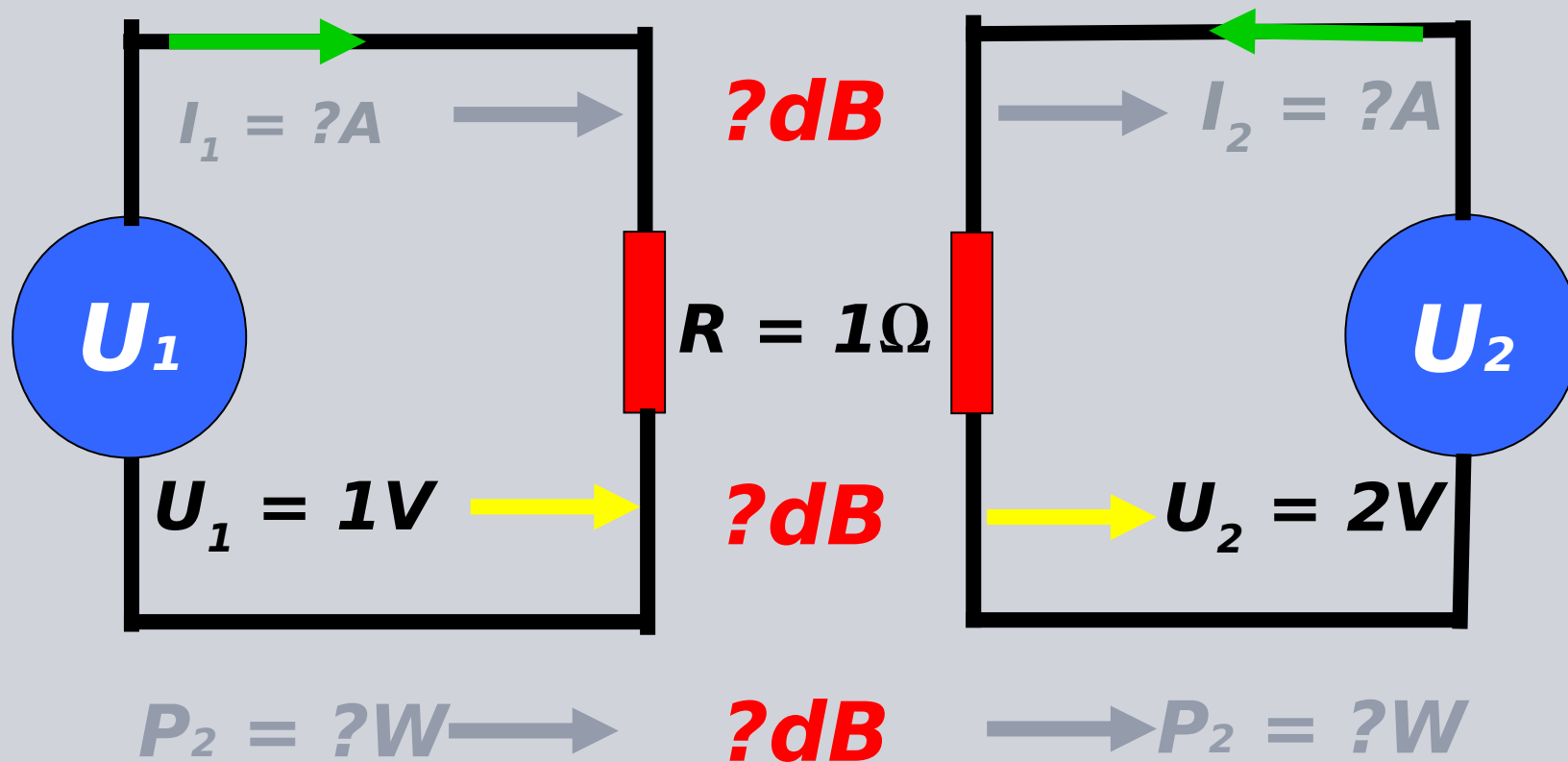


Power Ratio	Bel	Decibels	Voltage, Current, SPL Ratio
P1/P2		dB	U1/U2 , I1/I2, SPL1/SP2 etc.
1,00	0,0	0	1,00
1,25	0,1	1	1,12
1,60	0,2	2	1,26
2,00	0,3	3	1,41
2,50	0,4	4	1,58
3,15	0,5	5	1,77
4,00	0,6	6	2,00
5,00	0,7	7	2,24
6,30	0,8	8	2,51
8,00	0,9	9	2,83
10,00	1,0	10	3,16
15,80	1,2	12	3,97
20,00	1,3	13	4,47
50,00	1,7	17	7,07
100,00	2,0	20	10,00
1.000,00	3,0	30	31,62
10.000,00	4,0	40	100,00
100.000,00	5,0	50	316,23
1.000.000,00	6,0	60	1.000,00
100.000.000,00	8,0	80	10.000,00
10.000.000.000,00	10,0	100	100.000,00
1.000.000.000.000,00	12,0	120	1.000.000,00

Dezibel und Ohm'sches Gesetz, Rechenbeispiel und **Resultate**



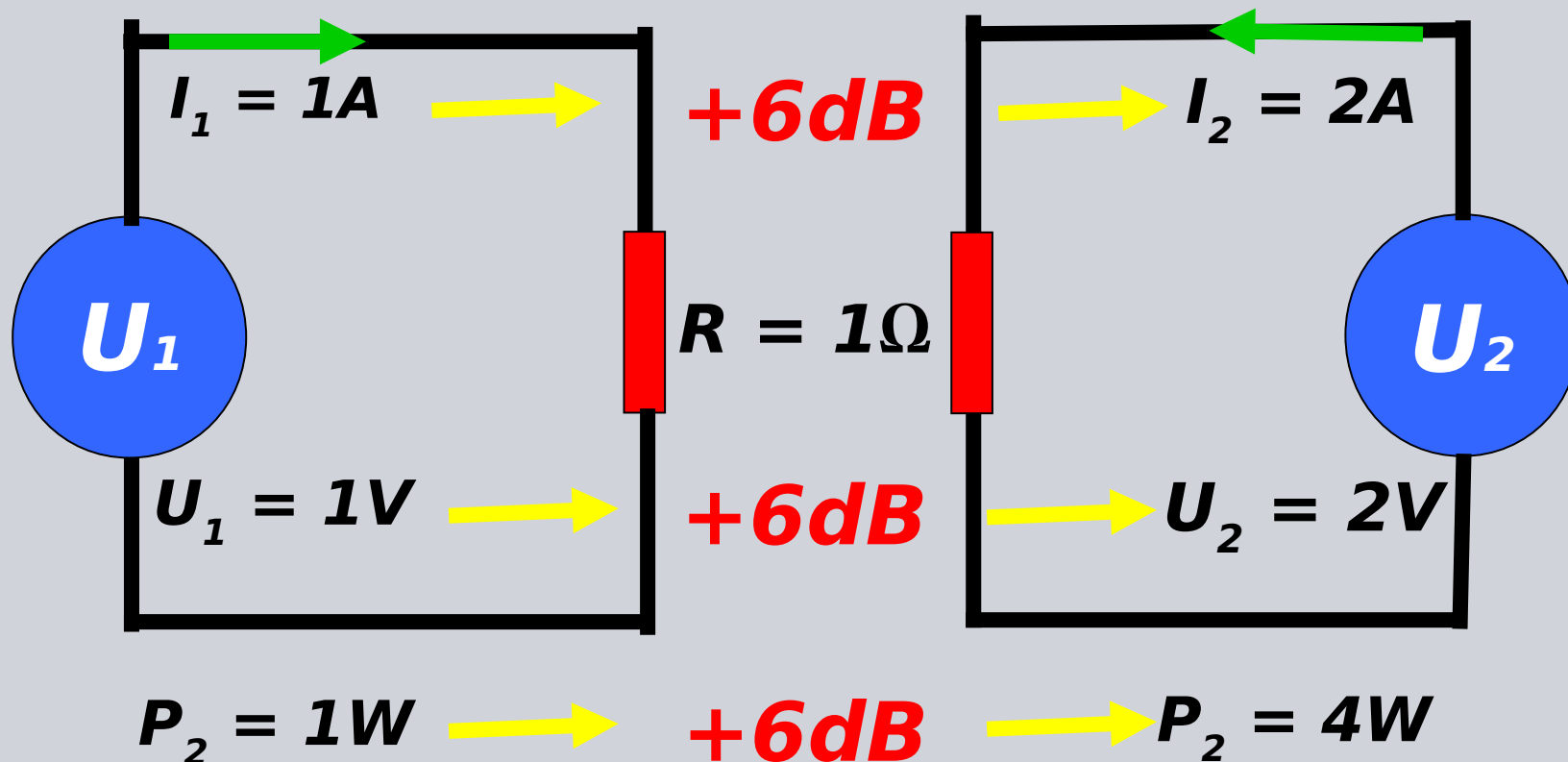
Was geschieht mit der Stromstärke und mit der Leistung, wenn die Spannung in einem einfachen elektrischen Kreis erhöht wird? Kalkuliere das Resultat in V, A, W und dB.



Dezibel und Ohm'sches Gesetz, Rechenbeispiel und **Resultate (1 von 3)**



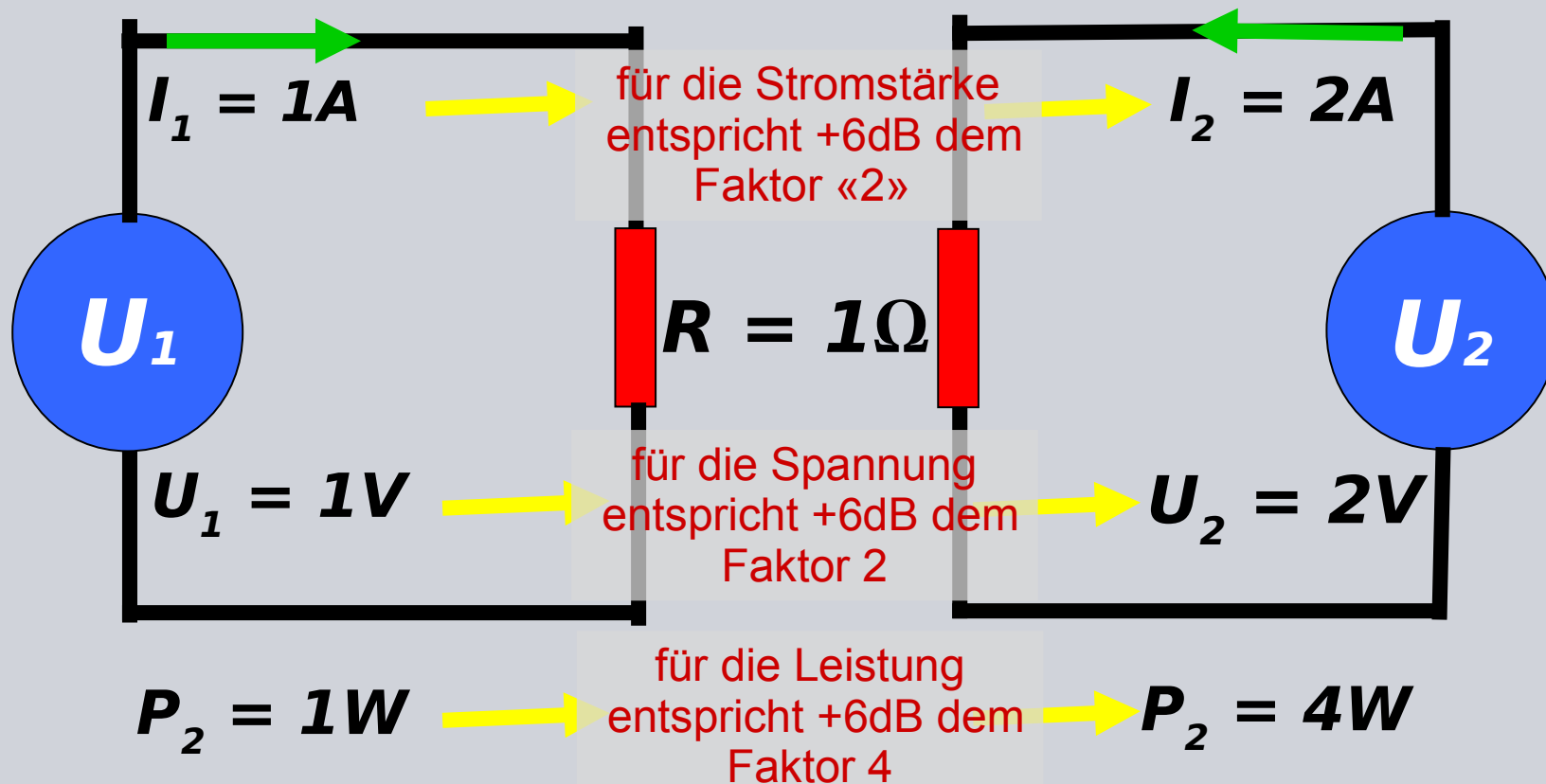
Während die Spannung und die Stromstärke sich verdoppeln, vervierfacht sich die Leistung bei gleichem Widerstand (Ohm'sches Gesetz). In jedem Fall werden wir aber eine dB-Steigerung von +6dB finden.



Dezibel und Ohm'sches Gesetz, Rechenbeispiel und **Resultate (2 von 3)**



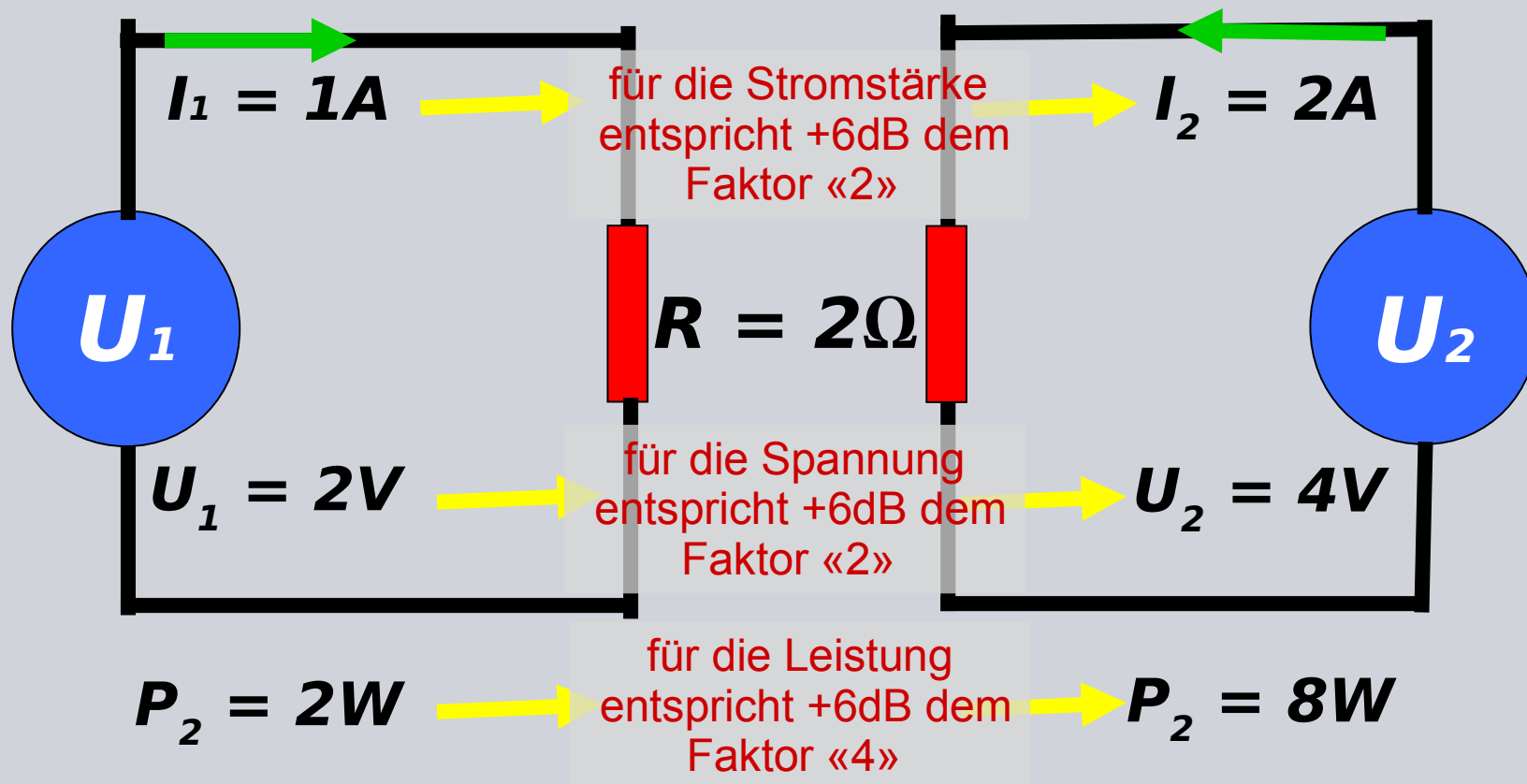
Spannung und Stromstärke quadriert die Leistung bei gleichbleibenden Widerstand (Ohm'sches Gesetz). In jedem Fall finden wir +6dB Steigerung. Was passiert, wenn wir den Wert für den Widerstand wechseln?



Dezibel und Ohm'sches Gesetz, Rechenbeispiel und **Resultate (3 von 3)**



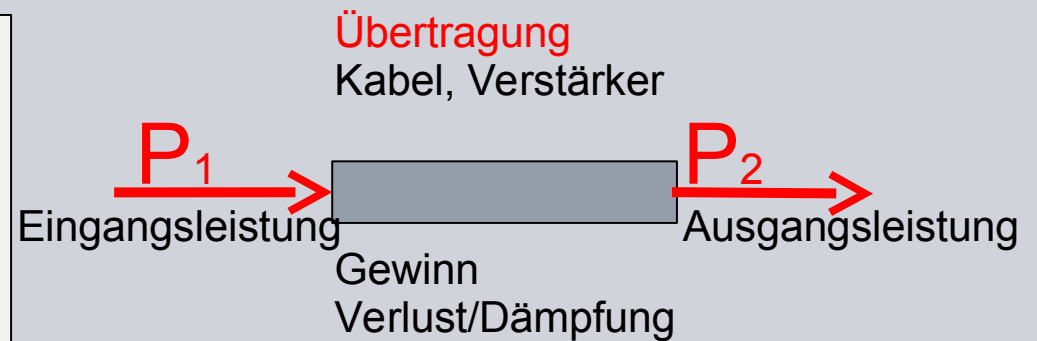
Die Leistung ist gleich der vierfachen Spannung oder Stromstärke bei gleichbleibenden Widerstand (Ohm'sches Gesetz). In jedem Fall bleibt das Resultat in dB gleich. Auch wenn wir den Widerstand ändern.



Das dezi-Bel [dB]: Weitere Beispiele



$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$



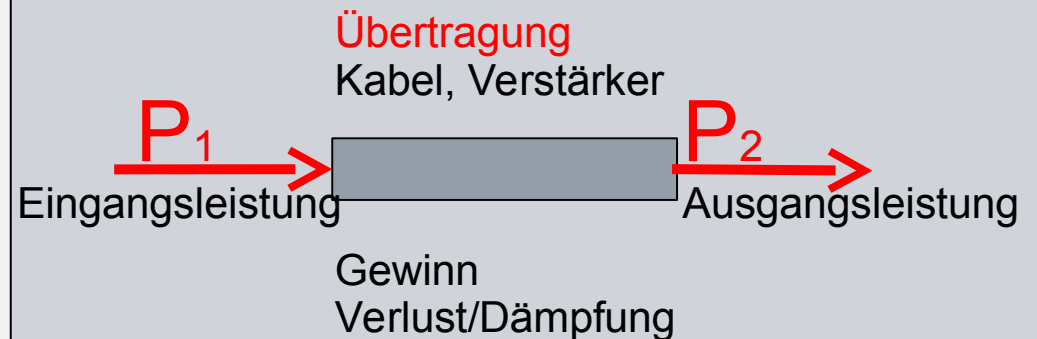
- | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|--------------|
| A: $P_{\text{in}} = 2 \text{ W}$, | $P_{\text{out}} = 20 \text{ W}$ | Resultat = ? |
| B: $P_{\text{in}} = 1 \text{ MW}$, | $P_{\text{out}} = 1 \text{ MW}$ | Resultat = ? |
| C: $P_{\text{in}} = 1 \text{ kW}$, | $P_{\text{out}} = 1 \text{ mW}$ | Resultat = ? |
| D: $P_{\text{in}} = 2 \text{ V}$, | $P_{\text{out}} = 4 \text{ V}$ | Resultat = ? |

Das dezi-Bel [dB]

Weitere Beispiele: Resultate



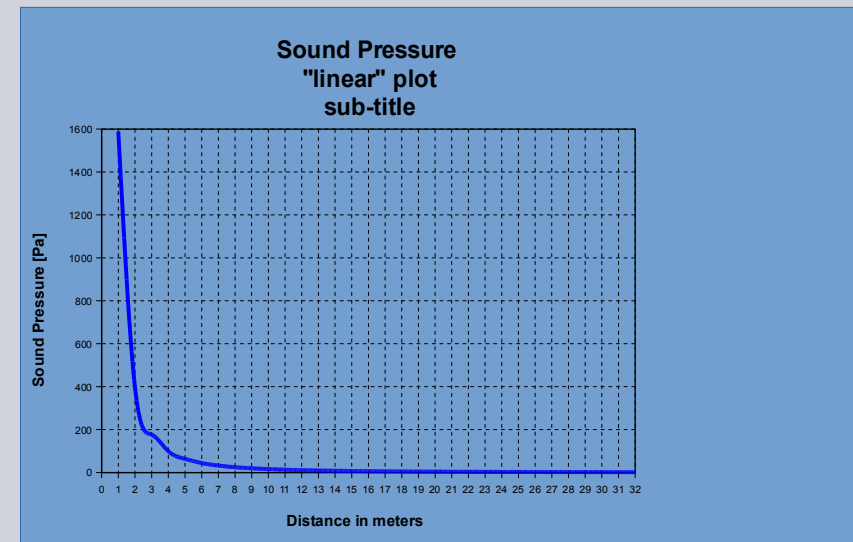
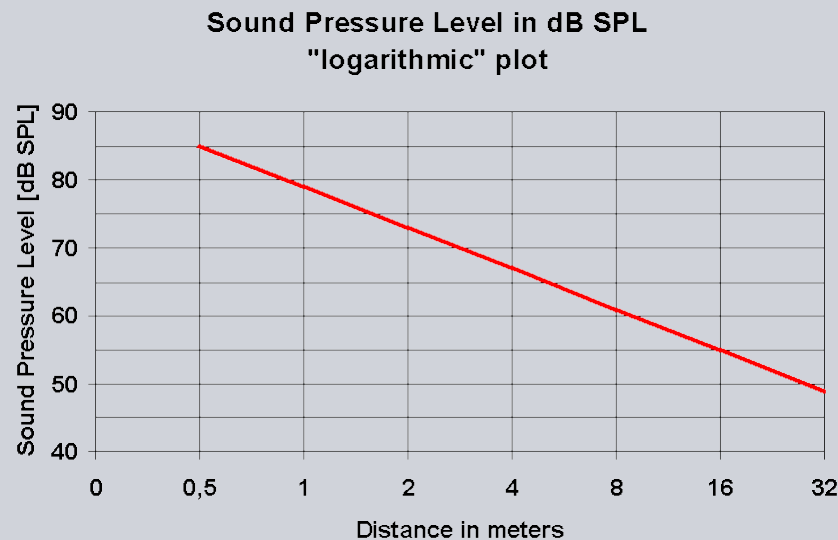
$$\text{dB} = 10 \log \frac{P_2}{P_1}$$



A: $P_{\text{in}} = 2 \text{ W}$,	$P_{\text{out}} = 20 \text{ W}$	Resultat = 10 dB
B: $P_{\text{in}} = 1 \text{ MW}$,	$P_{\text{out}} = 1 \text{ MW}$	Resultat = 0 dB
C: $P_{\text{in}} = 1 \text{ kW}$,	$P_{\text{out}} = 1 \text{ mW}$	Resultat = -60 dB
D: $P_{\text{in}} = 2 \text{ V}$,	$P_{\text{out}} = 4 \text{ V}$	Resultat = 6 dB*

* Bei gleichbleibendem Widerstand, da das Dezibel das Leistungsverhältnis angibt. Damit müssen wir bei der Spannung das Quadrat des 10er Logarithmus bzw. den 20er Logarithmus gebrauchen

Beispiel: Schalldruckpegel vs. Entfernung, Vergleich zwischen der logarithmischen und linearen Skala



In diesem Beispiel reduziert sich der Schalldruckpegel mit steigendem Abstand in einer doppelt logarithmischen und linearen Skala (dB_{SPL} vs. verdoppeltem Abstand)

In der linearen Skala hat man keine brauchbare Auflösung, wogegen bei der dB Skala eine Aussage gemacht werden kann

Das Dezibel als ein Pegel (Referenz)

$$L_{\text{ref}} \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P}{P_{\text{ref}}}$$

Das Dezibel beschreibt ein Leistungsverhältnis, wird aber gebraucht um ein Niveau oder einen Pegel zu beschreiben. Ein Pegel setzt einen gewissen Referenzwert, z.B. 2V, 5W, etc. voraus, also nicht einfach ein Verhältnis.

Deshalb muss, im Falle, dass das dB als Pegelangabe gebraucht wird, immer ein Reverenz-Niveau „L_{ref}“ angegeben werden.

Der Buchstabe „L“ wird normalerweise für den Begriff Level oder Pegel gebraucht. Der Suffix beim L gibt die Referenz an.

Das Dezibel als Pegelangabe, Beispiele für mögliche Referenzen



Leistungsverhältnis: 10-er Logarithmus

dB_m Ref. 0 dB_m = 1mW z.B. +6 dB_m für Audio

dB_w Ref. 0 dB_w = 1W z.B. -60 dB_w für Audio

dB_k Ref. 0 dB_k = 1kW z.B. +10 dB_k

Amplituden: 20-er Logarithmus (*)

dB_V Ref. 0 dB_V = 1V z.B. -10 dB_V für Audio

dB_{SPL} Ref. 0 dB_{SPL} = 20 μPa (***) z.B. 85 dB_{SPL} Schalldruckpegel (sound pressure level)

$\text{dB}_{\mu V}$ Ref. 0 $\text{dB}_{\mu V}$ = 1 μV z.B. -60 $\text{dB}_{\mu V}$ für Antennen

dB_u Ref. 0 dB_u = 775 mV=1 mW@600 Ω (**) z.B. +6 dB_u für Audio

dB_{FS} Ref. 0 dB_{FS} = Eingangsleistung die eine (digitale) Komponente verarbeiten kann

...

* Bei Gebrauch eines Pegels muss das Quadrat des 10er Logarithmus gebraucht werden

** Die Zahlen $\text{dB}_m = \text{dB}_u$ in einem 600 Ω Stromkreis, da 600 Ω in der Vergangenheit die Standard Ein- und Ausgangsimpedanz eines Audio-Übertragers war

*** 20 μPa = 0 dB_{SPL} ist in etwa die Hörschwelle ebim Menschen

Der Gebrauch von Dezibel erleichtert Berechnungen

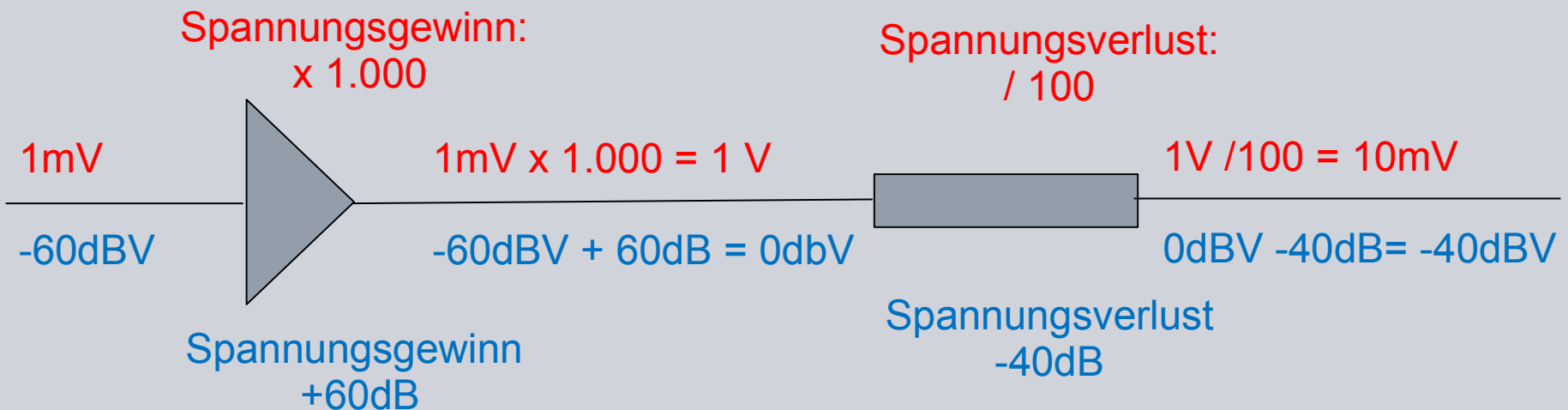


Im Logarithmischen Massstab ergeben die Multiplikation und Division eine Addition bzw. Subtraktion:

$a \times b = c$ ergibt $\log a + \log b = \log c$

$a / b = c$ ergibt $\log a - \log b = \log c$

Lineare Berechnung

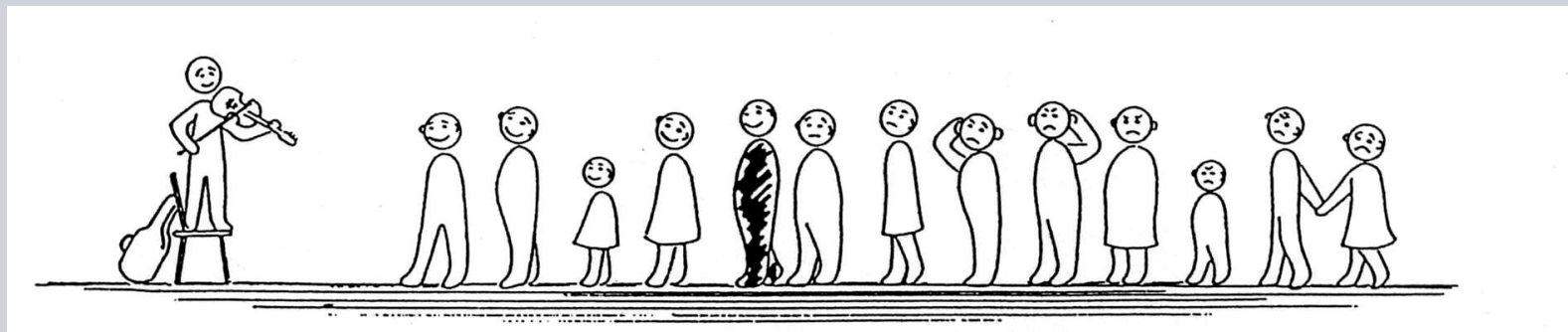
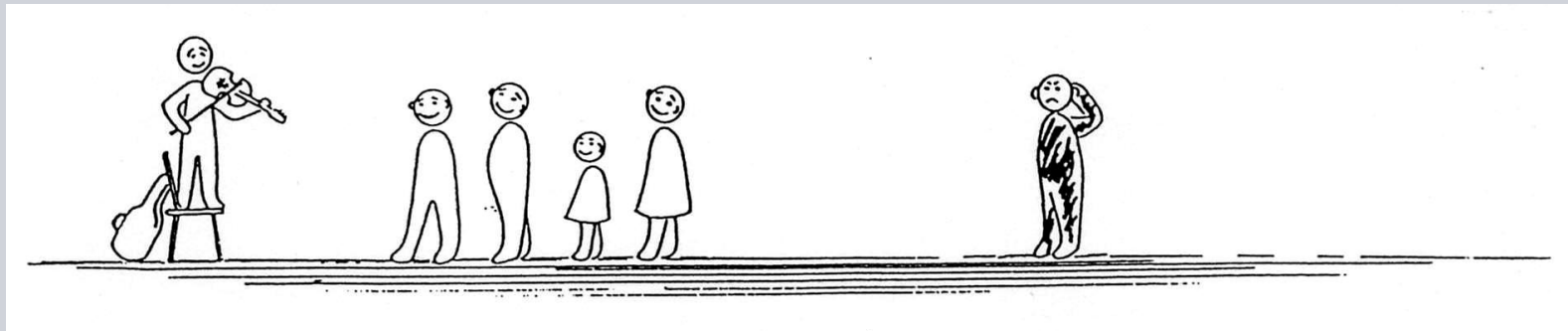


Logarithmische Kalkulation

Grundlagen

Was ist Schall

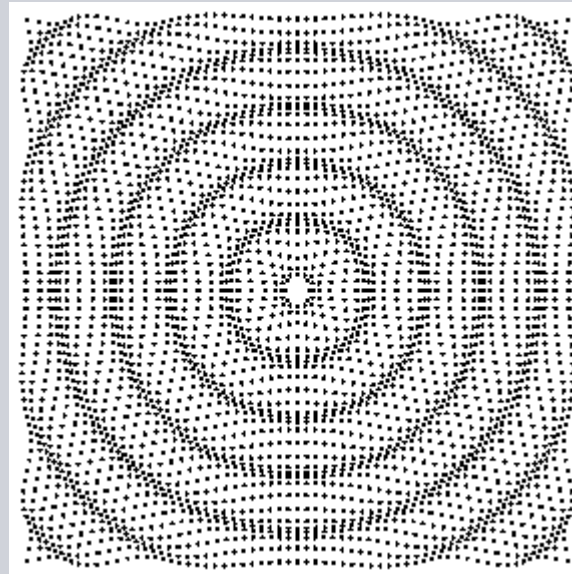
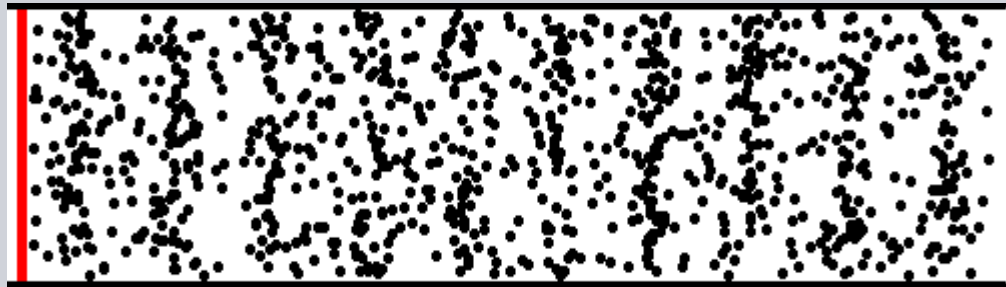
Die Qualität von Musik und Tönen verändert sich mit dem Abstand zur Quelle



Aus Erfahrung kennen wir den Effekt, dass sich die Tonqualität und Lautstärke mit dem Abstand zur Quelle verschlechtert...

Aber wie breitet sich der Schall den nun genau aus?

Wellen und Teilchen



Schalldruckpegel

(Regionen mit hohem und niedrigem Pegel)

Teilchengeschwindigkeit

(Bewegung der Moleküle)

Schallgeschwindigkeit

(Energieübertragung)

Schall ist eine oszillierende Welle! Alle physikalischen Gesetze der Wellenlehre gelten also auch für den Schall.

Wellenlehre: Physik und Mathematik

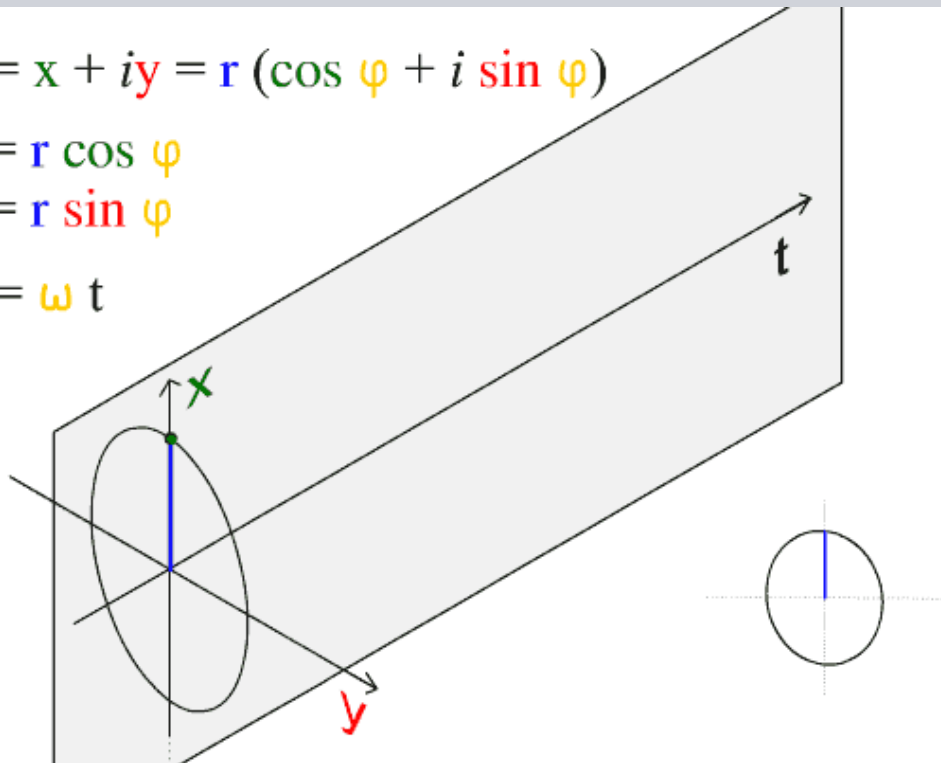


$$z = x + iy = r (\cos \varphi + i \sin \varphi)$$

$$x = r \cos \varphi$$

$$y = r \sin \varphi$$

$$\varphi = \omega t$$



Amplitude

Bezeichnet die Größe einer Welle, wie z.B. Spannung, Druck, magnetisches Feld, etc.

Phase

Die Phase bezeichnet den aktuellen Winkel zwischen der Achse und dem rotierenden Vektor

Periodendauer

Ist die Zeit, die der Vektor benötigt, um einen ganzen Umfang abzufahren.

Frequenz:

Anzahl Durchläufe pro Sekunde, in Hz. 1
Durchlauf pro Sekunde = 1Hz
1000 Durchläufe pro Sekunde = 1kHz

Ein Vektor mit der Länge “r” rotiert durch all Phasen eines Kreises (2π) während einer bestimmten Zeit ($1/\text{Frequenz}$)

Beobachten Sie die Werte des Vektors, der bei $t=0$, $y=0$ beginnt zu rotieren. Das Resultat ergibt einen Cosinus auf der Ebene der X-Achse (Projektion auf X-Achse)

Wellenlehre: Physik und Mathematik

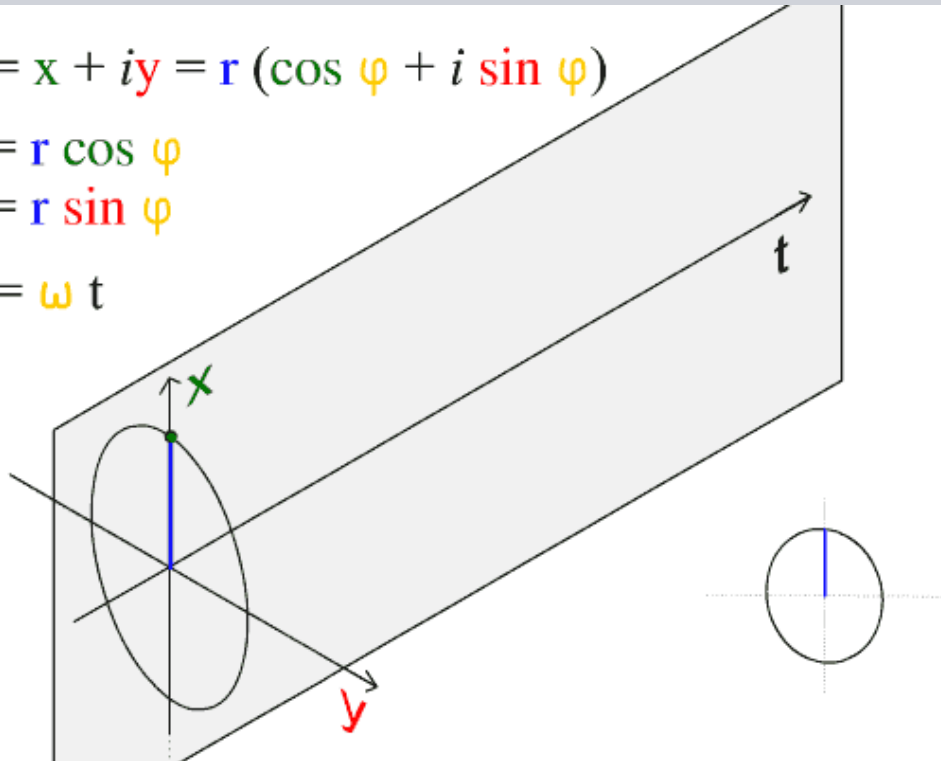


$$z = x + iy = r (\cos \varphi + i \sin \varphi)$$

$$x = r \cos \varphi$$

$$y = r \sin \varphi$$

$$\varphi = \omega t$$



Amplitude

Bezeichnet die Grösse einer Welle, wie z.B. Spannung, Druck, magnetisches Feld, etc.

Phase

Die Phase bezeichnet den aktuellen Winkel zwischen der Achse und dem rotierenden Vektor

Durchlauf

Ist die Zeit, die der Vektor benötigt, um einen ganzen Umfang abzufahren.

Frequenz:

Anzahl Durchläufe pro Sekunde, in Hz. 1

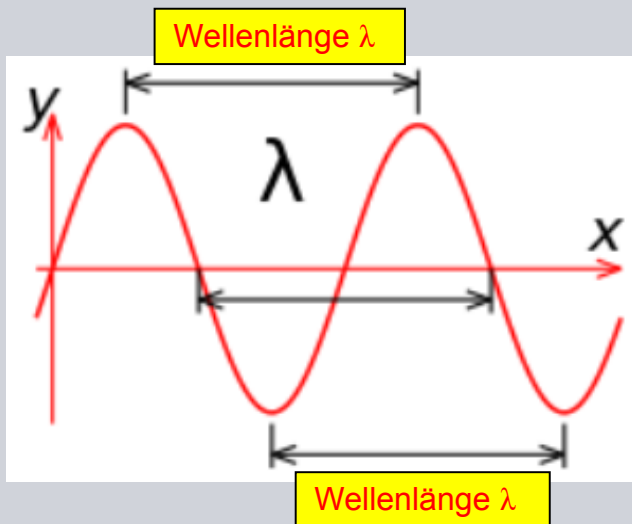
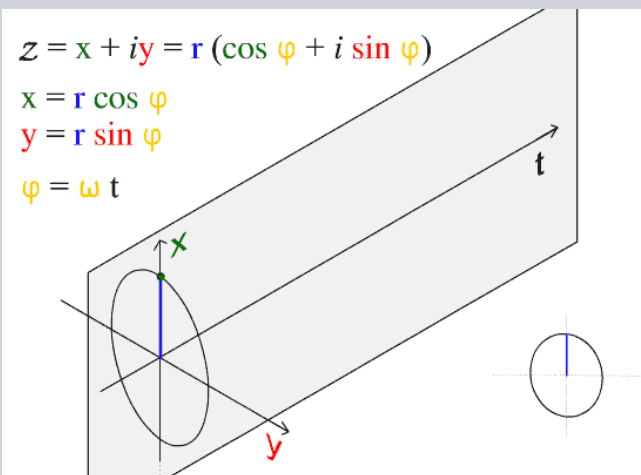
Durchlauf pro Sekunde = 1Hz

1000 Durchläufe pro Sekunde = 1kHz

Ein Vektor mit der Länge “r” rotiert durch all Phasen eines Kreises (2π) während einer bestimmten Zeit ($1/\text{Frequenz}$)

Beobachten sie die Werte des Vektors, der bei $t=0$, $y=0$ beginnt zu rotieren. Das Resultat ergibt einen Cosinus auf der Ebene der X-Achse (Projektion auf X-Achse)

Wellenlehre: Zusammenhang von Wellenlänge, Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit



Wellenlänge

Die Wellenlänge ist definiert als physikalische Länge von einem Punkt eines bestimmten Amplitudenwertes zum nächsten mit dem gleichem Amplitudenwert und Phase.

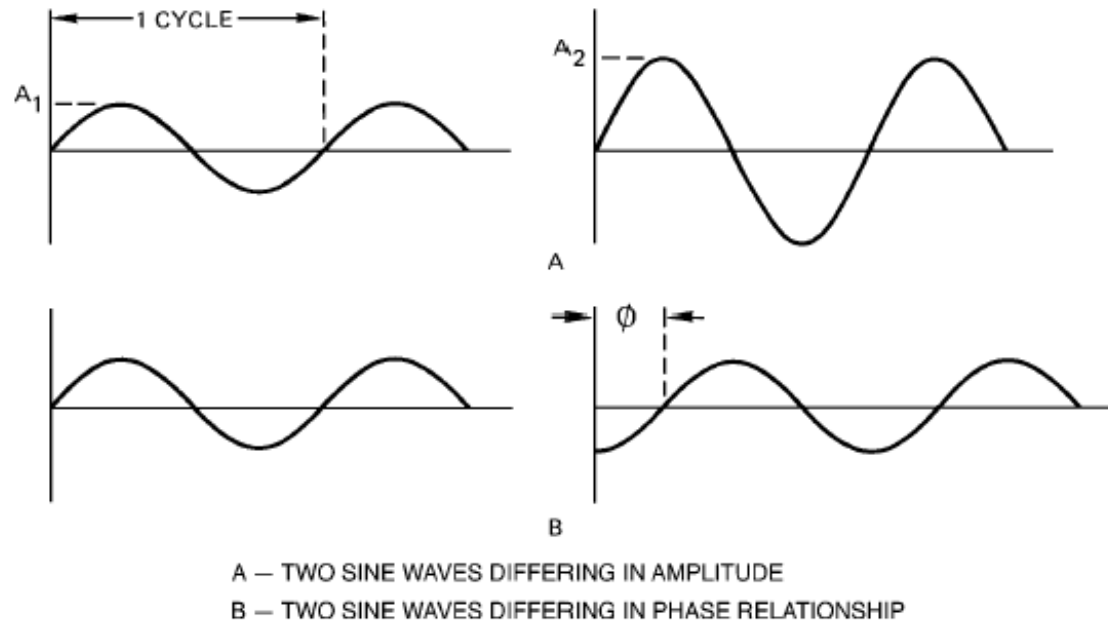
In der Animation kann die Wellenlänge nicht direkt erkannt werden, da keine der gezeigten Achsen die Richtung im Raum angeben.

Die dritte Achse ist die Zeitachse. Da sich eine Welle in der Zeitachse ausdehnt, breitet sie sich auch im Raum aus. Damit muss die Zeitachse proportional zur Richtungsachse sein, in der sich die Welle ausbreitet,.

Somit können wir die Wellenlänge mittels der Zeit berechnen, die eine Welle benötigt, um einen ganzen Zyklus (360 Grad) abzufahren.

Wellenlänge, Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit stehen in enger Abhängigkeit.

Wellen und deren Eigenschaften



Amplituden

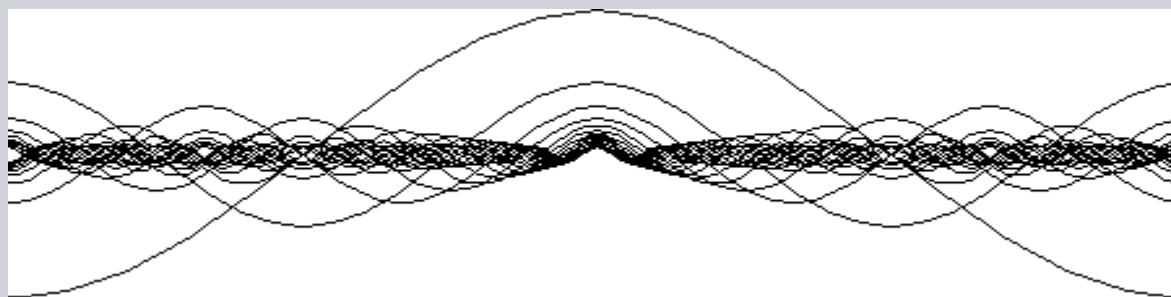
Bezeichnet die Grösse einer Welle, wie z.B. Spannung, Druck, magnetisches Feld, etc.

Phasenverschiebung

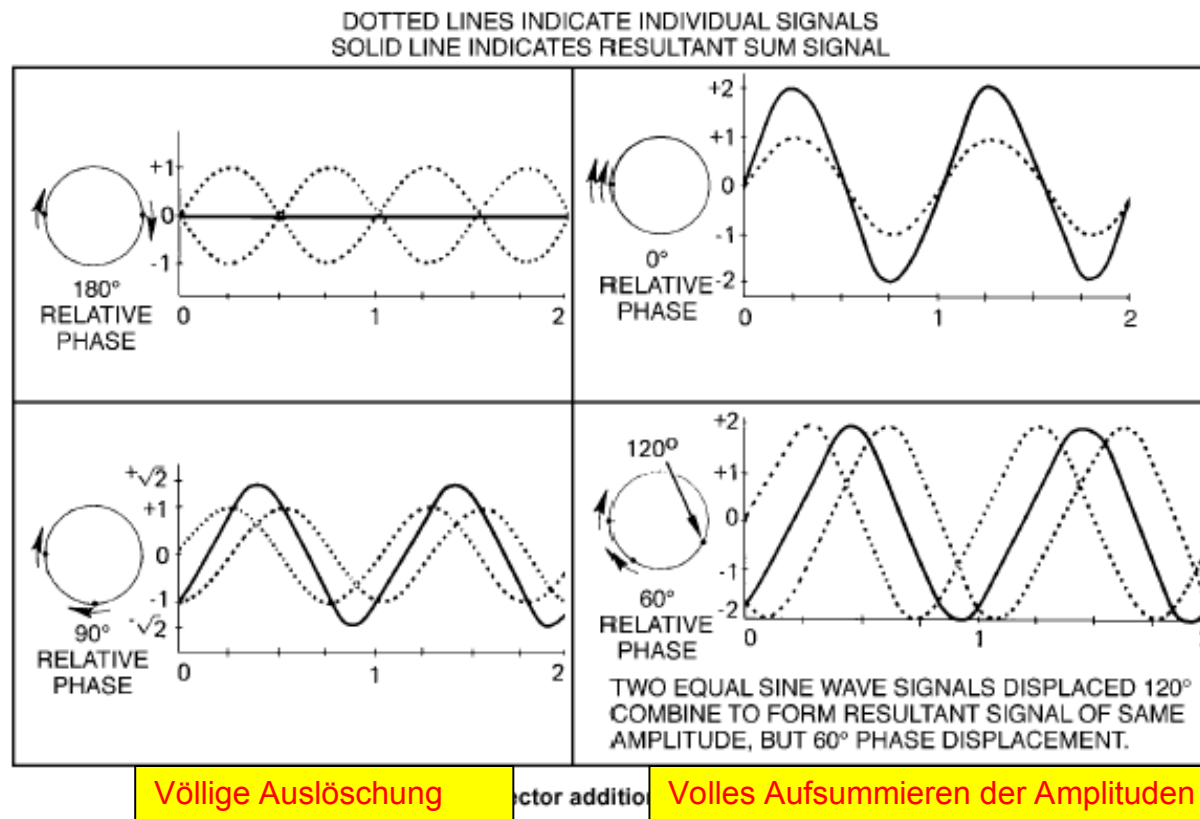
Die hier gezeigten zwei Phasen haben eine Winkel-Verschiebung

Wellenlänge

Die physikalische Länge zwischen dem einen 0-Liniendurchlauf zum Anderen mit der gleichen Phase



Das Überlagern (Summieren) von (Sinus-)Wellen



Zwei Wellen zu addieren bedeutet beide Amplituden an einem bestimmten Ort und Zeit zu addieren.

Bei gleicher Frequenz ändern sich die Amplituden synchron. Es müssen jedoch die Phasenunterschiede berücksichtigt werden.

Deshalb müssen bei der Addition zweier gleicher Wellen, nicht nur die Amplituden, sondern vor allem auch die verschiedenen Phasenwinkel berücksichtigt werden...

Zufällige Signale zu addieren bedeutet die Summation der verschiedenen Amplituden an verschiedenen Zeiten und Orten.

Wellenlänge und Frequenz



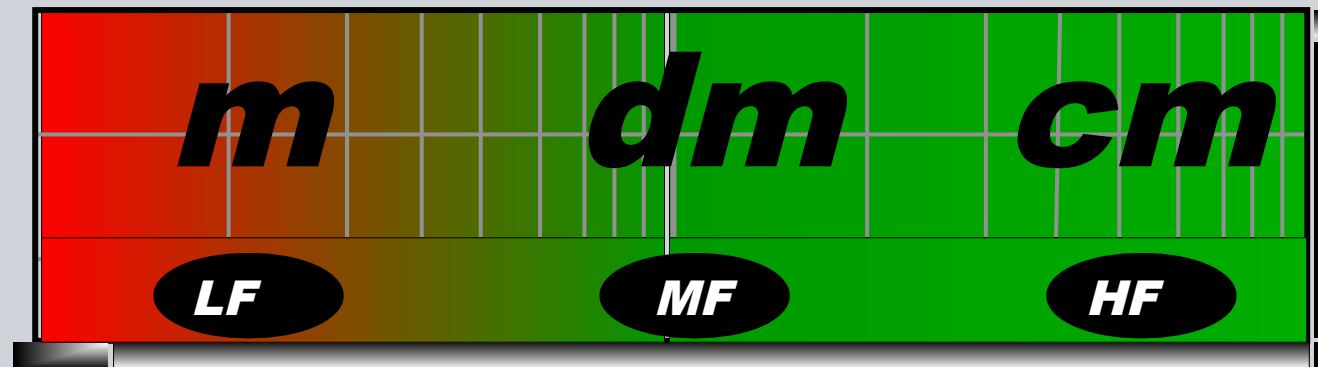
$$\lambda = \frac{c}{f}$$

λ : Wellenlänge (m)

c : Schallgeschwindigkeit (~ 340 m/s)

f : Frequenz (Hz = 1/s)

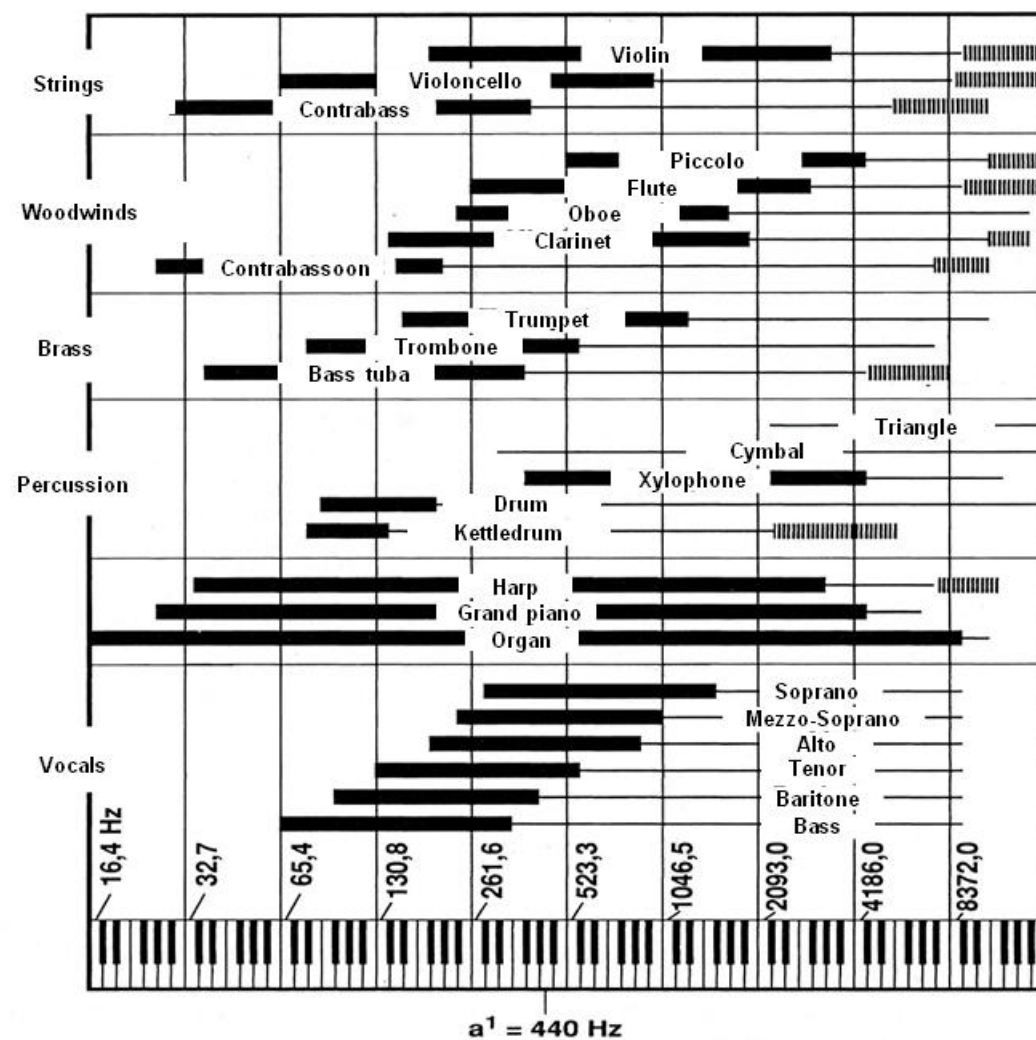
Wellenlänge λ



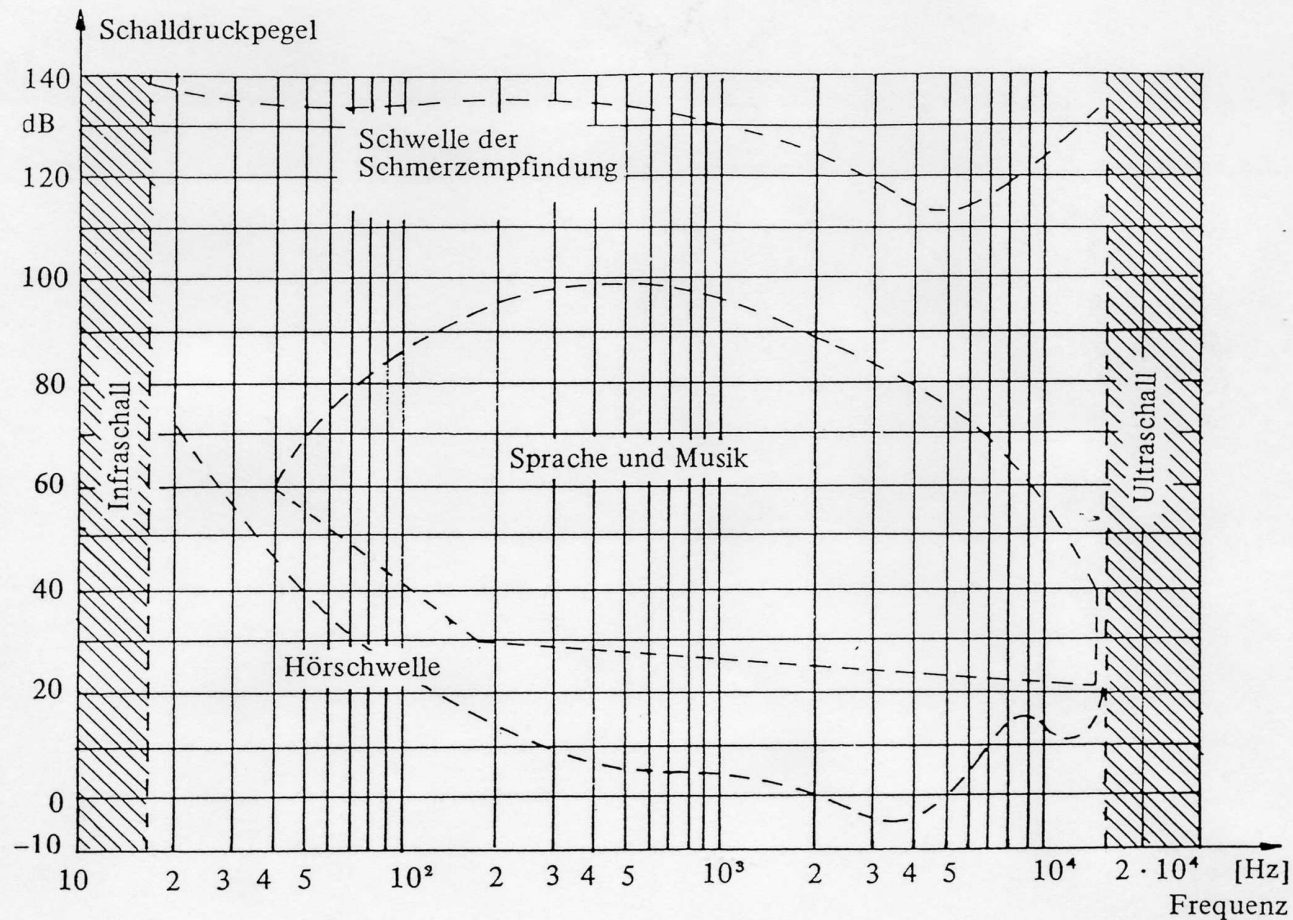
100 Hz ▶ 3,5 m 1 kHz ▶ 35 cm 10 kHz ▶ 3,5 cm



Frequenzspektrum von musikalischen Quellen



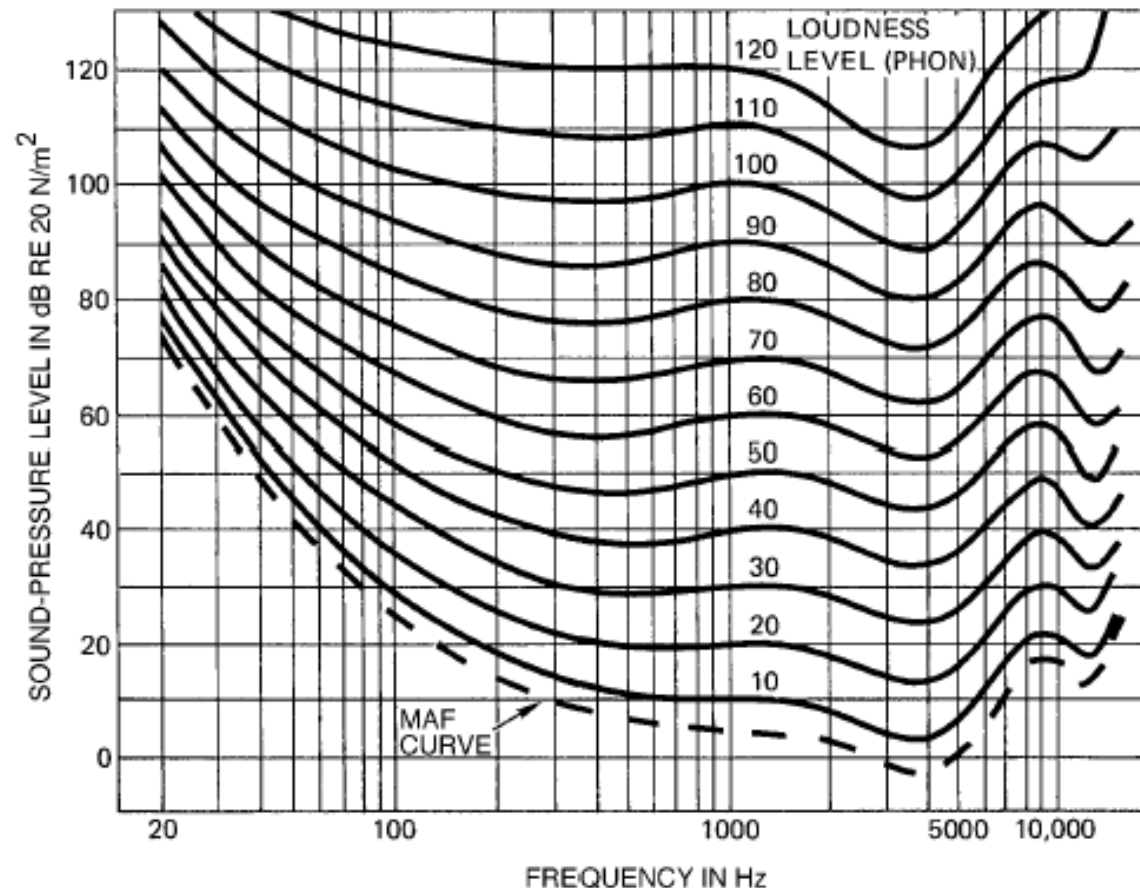
„Hörfeld mit Sprach- und Musikbereich“



Diese Graphik zeigt, welche Töne wir in Abhängigkeit von Frequenz und Lautstärke hören und welche nicht.



Lautstärkenprofil unseres Gehörs in [Phon]



Die Kurven gleicher „Lautheit“ zeigen: Unser Gehör ist nicht linear in Bezug auf Lautstärke und Frequenz.

Bei leisen Tönen werden die tiefen und hohen Frequenzen weniger laut wahrgenommen.

Je grösser die Lautstärke desto linearer wird unser Gehör

Filter mit A,B,C – Gewichtung für Lautstärkenmessung

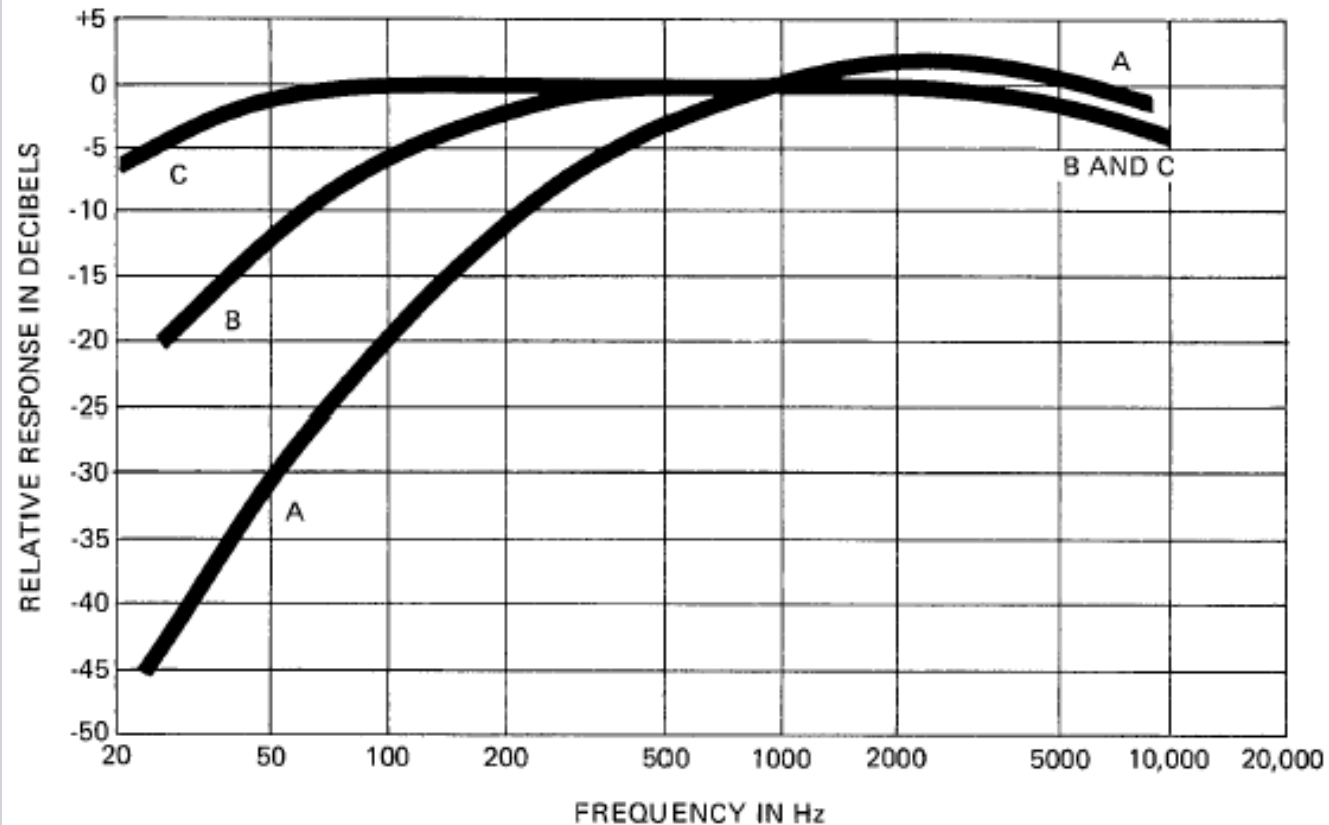


Figure 2-3. Frequency responses for SLM weighting characteristics

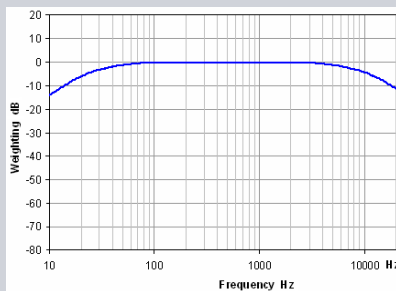
Die A-Gewichtung versucht, den gemessenen Lautstärkepegel an unser Gehör anzupassen (bei etwa. 40 dB SPL Lautstärke).

Es vereinfacht unsere Gehörkurve und invertiert sie.

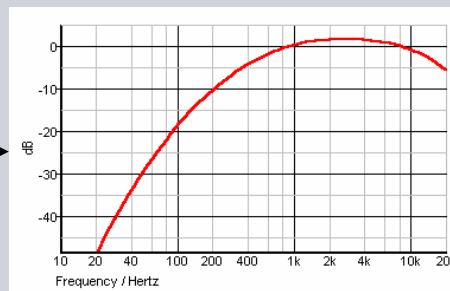
Filter mit A,B,C – Gewichtung für Lautstärkenmessung (cont.)



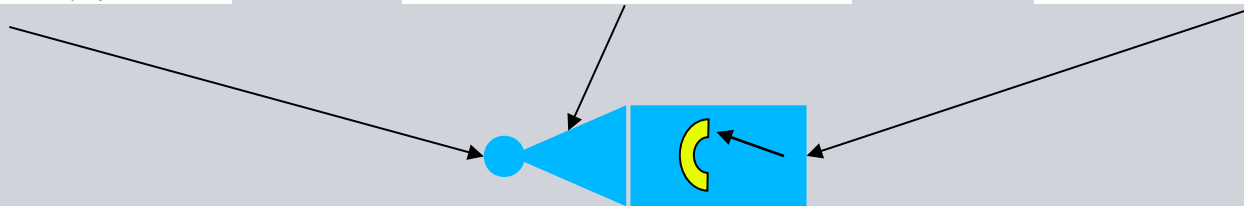
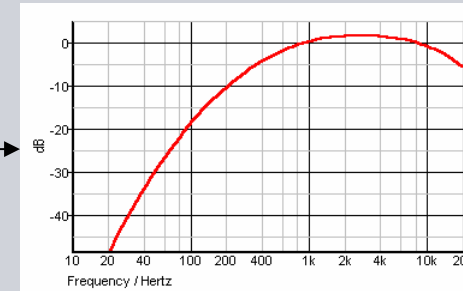
Signal-Eingang



Frequenzfilter



Gewichteter Ausgang

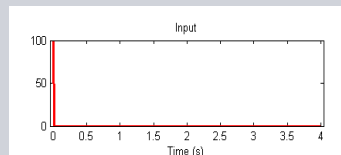


- Die A-Gewichtung ist ein Frequenzfilter der versucht den gemessen Schalldruckpegel an unser Gehör anzugleichen
- Es bildet unsere Gehörkurve nach und und invertiert sie
- Ein gutes Messgerät hat normalerweise einen A und C Frequenzfilter, wobei der C-Filter eine lineare Gewichtung vornimmt und lediglich die Ultra- und Infraschall Bereiche abschneidet.

S (slow), F (fast), I (Impuls): Zeit-Gewichtung für Schall- und Tonmessgeräte

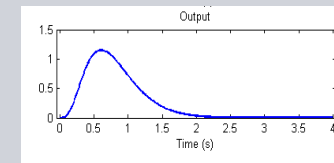


Signal-Eingang



Integrierende
Zeitgewichtung

Zeitgewichteter
Ausgang



Langsam (S): $t_{in} = 1000 \text{ ms}$

Schnell (F): $t_{in} = 125 \text{ ms}$

Puls (I): $t_{in} = 35 \text{ ms}$

- Die Integration über die Zeitachse, glättet die eingegangenen Schall-Impulse
- Ein gutes Messgerät sollte eine S, F und vielleicht eine I-Gewichtung ermöglichen
- Standardmessungen werden normalerweise mit der F-Gewichtung gemacht.

Typische Schalldruckpegel von der Hörgrenze bis zum Ohrenschaden

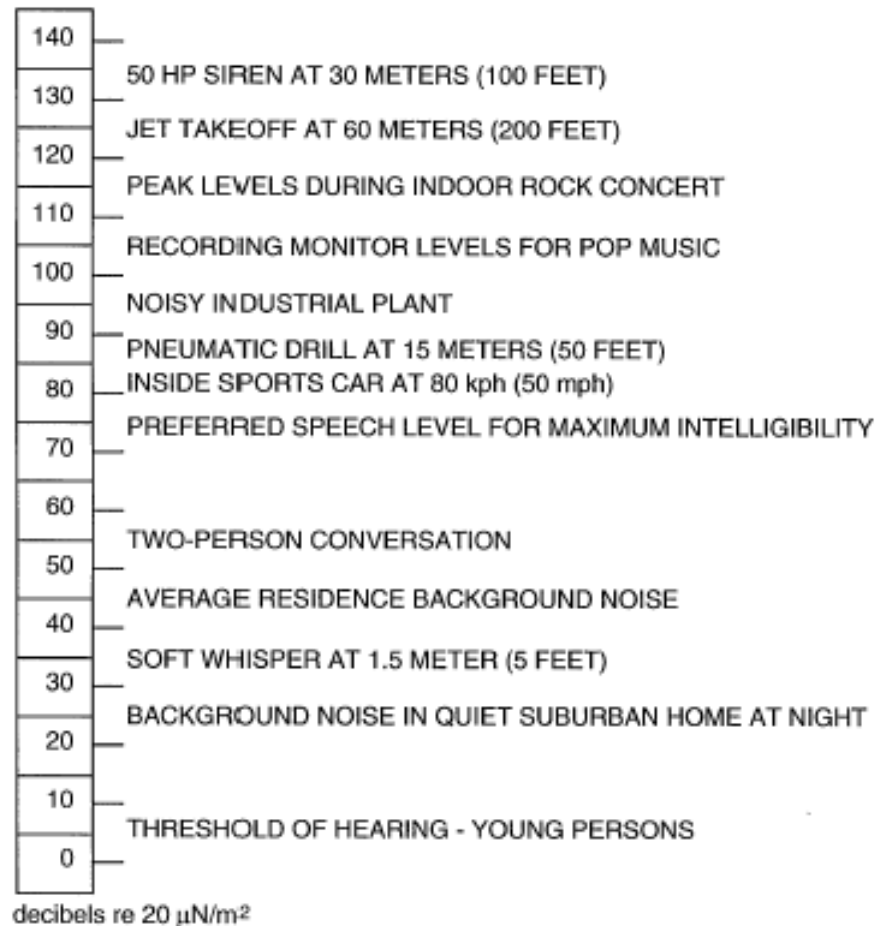
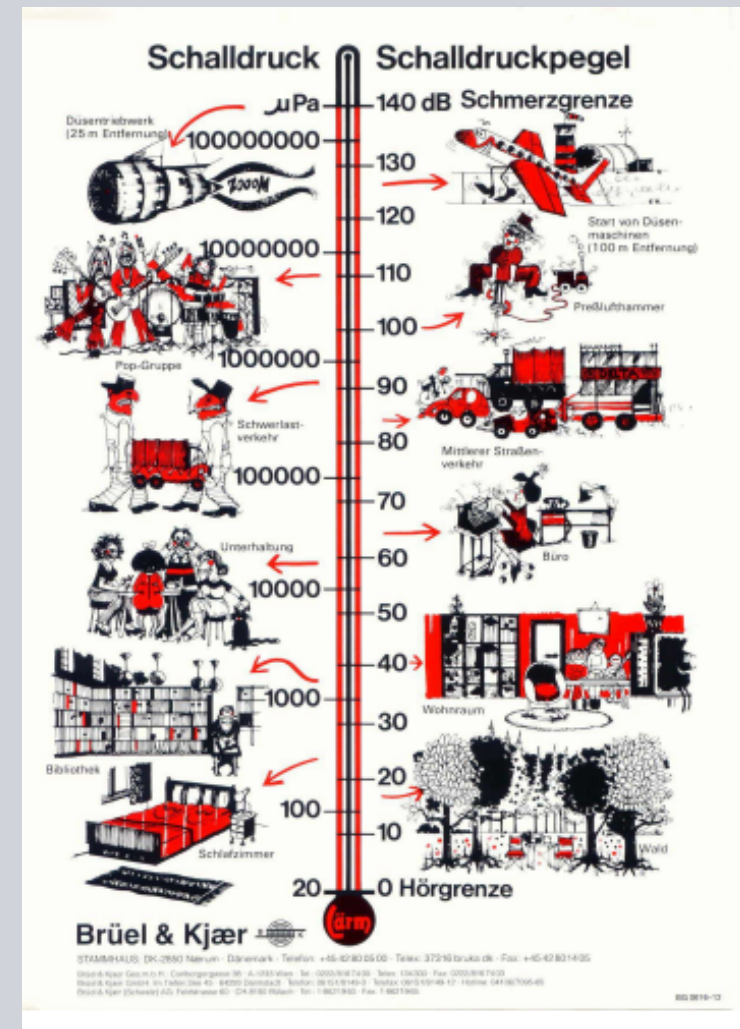


Figure 2-4. Typical A-weighted sound levels



Grundlagen

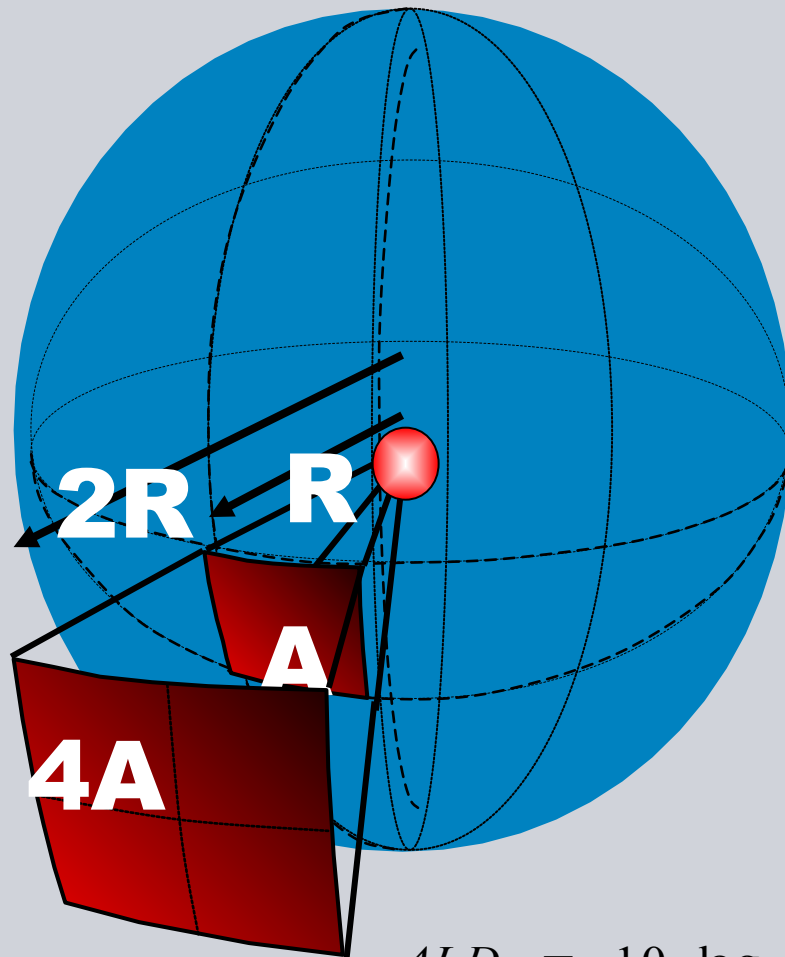
Ausbreitung von Schall



Grundlagen

Im Freien – Ein Spezialfall

Das Abstands-Gesetz



Der direkte Schalldruckpegel L_d einer Punktquelle nimmt bei einer Verdoppelung der Distanz mit 6dB ab.

Die Ausbreitung der Energie kann bei einer Punktquelle als eine sich mit der Zeit ausdehnende Kugeloberfläche betrachtet werden.

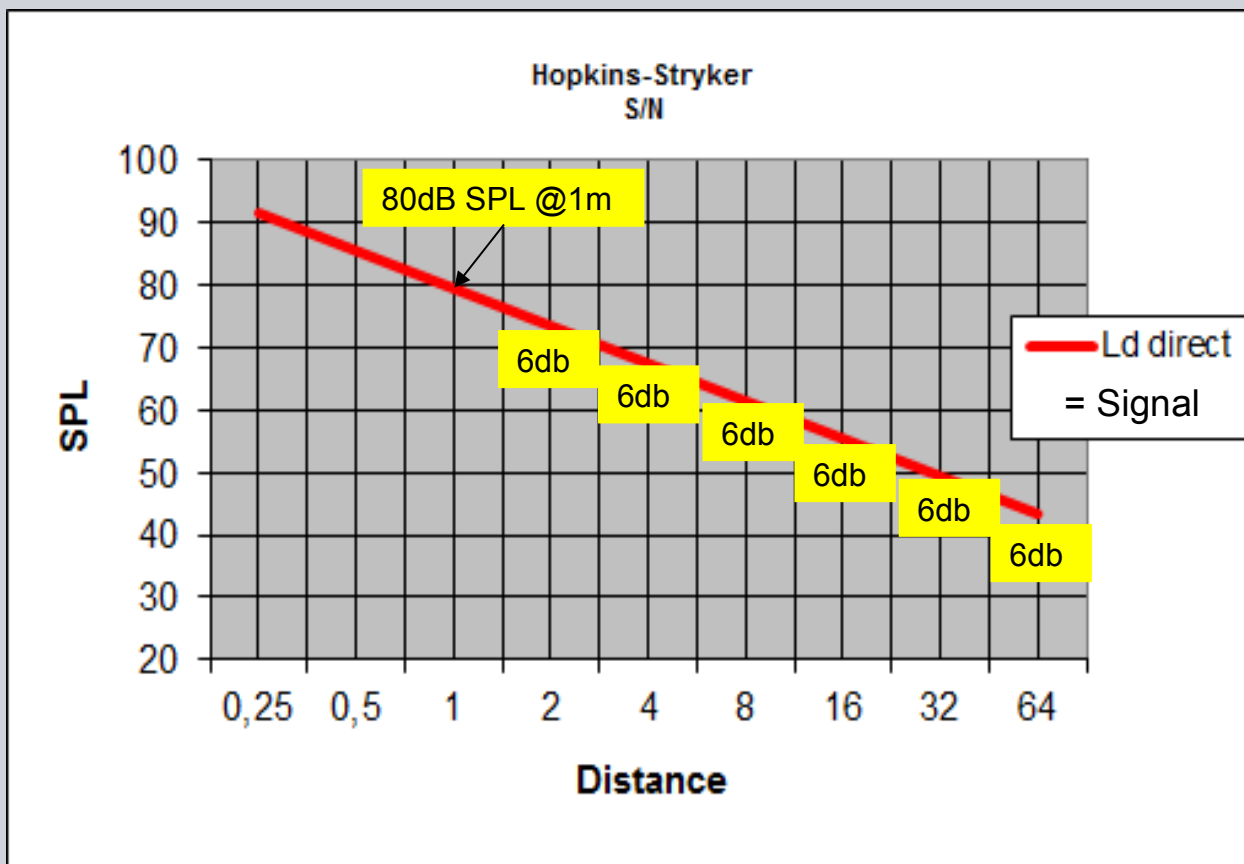
Die Energie bleibt konstant, die Fläche vergrößert sich im Quadrat.

Beispiel: Wird der Abstand (Radius) zur Quelle verdoppelt, vervierfacht sich die Fläche. Damit verringert sich die Energiedichte um einen Faktor 4, was einer Reduktion von 6dB entspricht.

Weiteres Beispiel: Die Beleuchtungsstärke eines Projektors verhält sich identisch.

$$\Delta LD = 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2}$$

Abstand zwischen Signal und Störgeräusch, S/N (Signal to Noise Ratio)



Die Graphik zeigt ein Beispiel eines Signales S, das sich in einem offenen Raum ausbreitet.

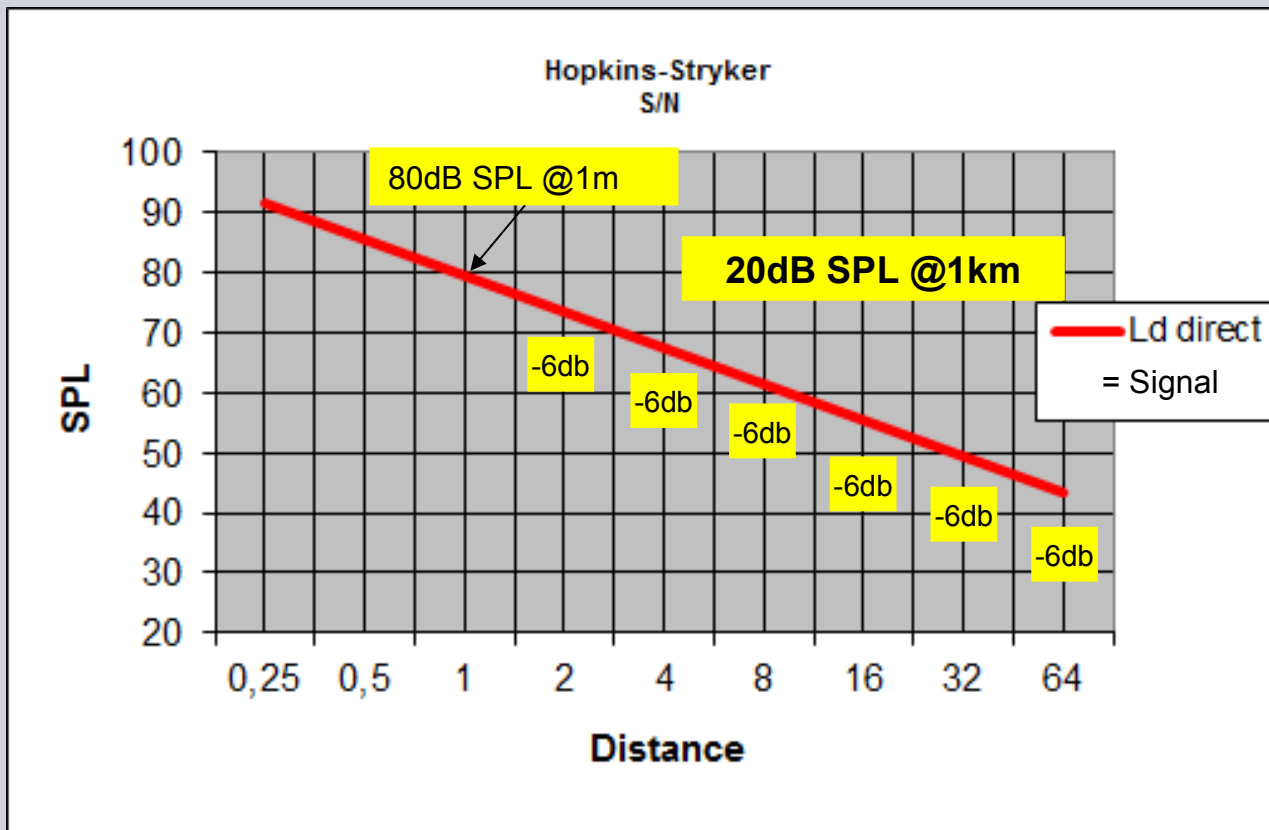
Verdoppelt sich der Abstand, verringert sich der Schalldruckpegel um 6dB.

Bei einem Abstand von einem Meter hat man noch einen Pegel von 80 dB_{SPL}.

Aufgaben:

- Welchen Pegel hat man noch nach 1km?
- Kann man das noch hören?
- Kann man das noch hören und verstehen?

Abstand zwischen Signal und Störgeräusch, S/N (Signal to Noise Ratio) → Resultate



➤ Welchen Pegel hat man noch nach 1km?

Bei 1 km hat sich der Schalldruck um 60 dB reduziert → SPL bei 1 km Abstand ist noch 20 dB

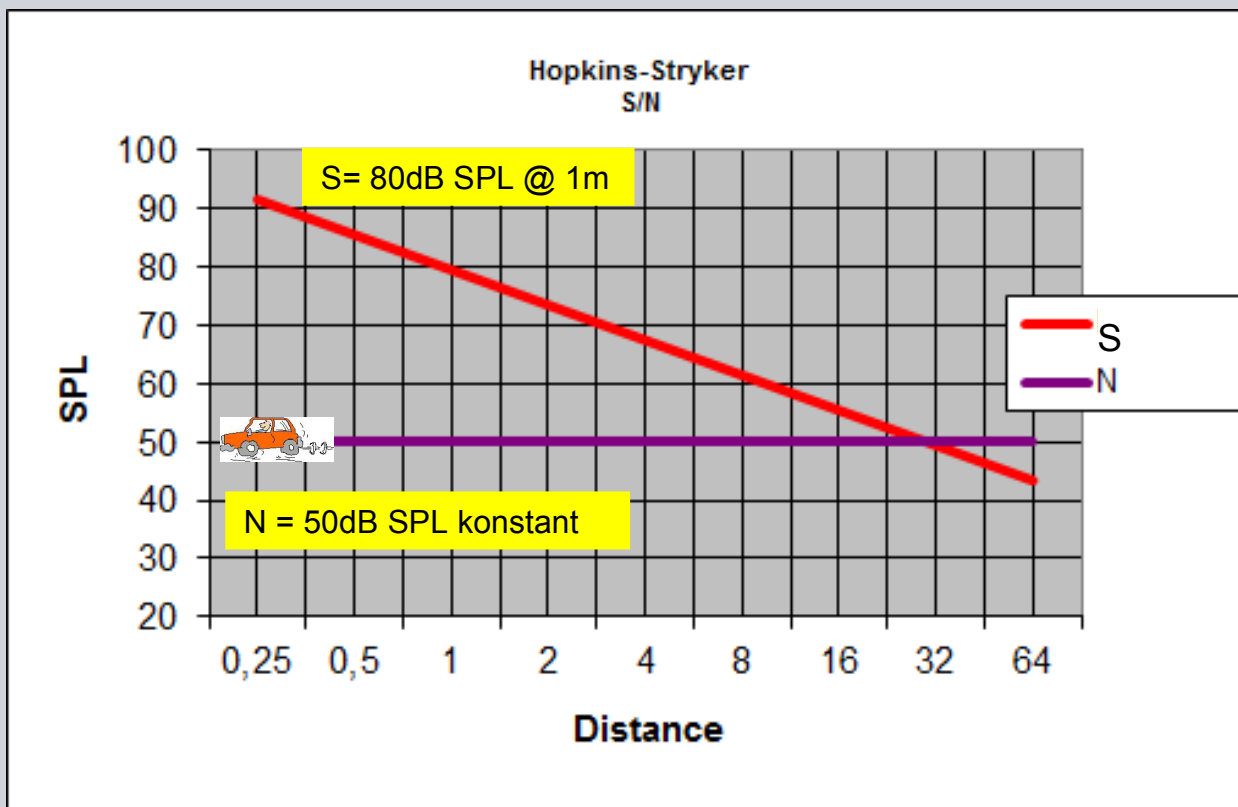
➤ Kann man das noch hören?

Der Schalldruckpegel ist noch über der Hörgrenze

➤ Kann man das noch hören und verstehen?

Hängt vom Hintergrundgeräusch ab → nächste Folie

Signal / Störgeräusch Abstand (S/N Ratio) cont. → Resultate

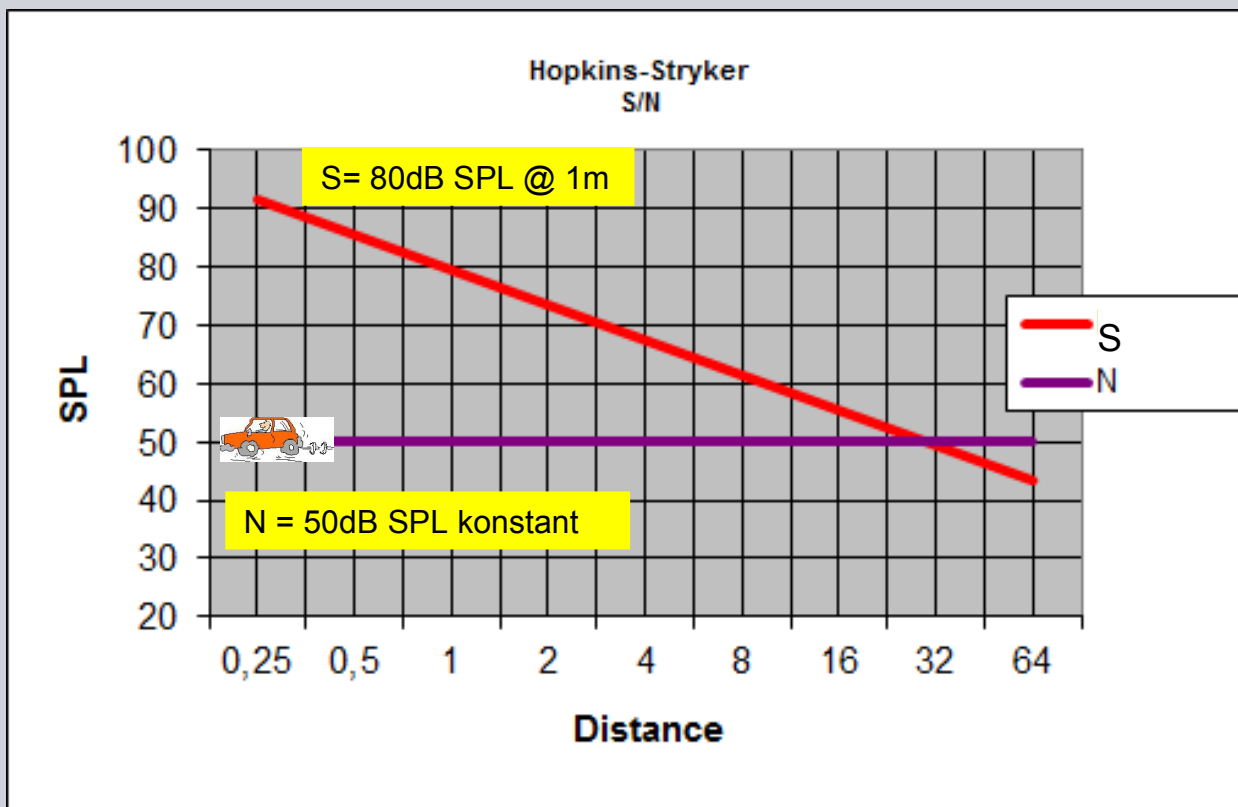


Die Zeichnung zeigt ein Beispiel eines Signales S in einem offenen Raum (Freiland) und einem konstanten Hintergrundrauschen oder Lärm mit einem Pegel von 50 dB_{SPL}.

Da dieses Geräusch unser Signal überlagert bzw. maskiert, ist eines der ersten Design-Kriterien einen sinnvollen S/N Abstand zu erreichen.

Berechne die verschiedenen Abstände bei 4, 8, 16, 32 und 64m.

Signal / Rausch Abstand (S/N Ratio) Fortsetzung



Berechne die verschiedenen Abstände bei 4, 8, 16, 32 und 64m:

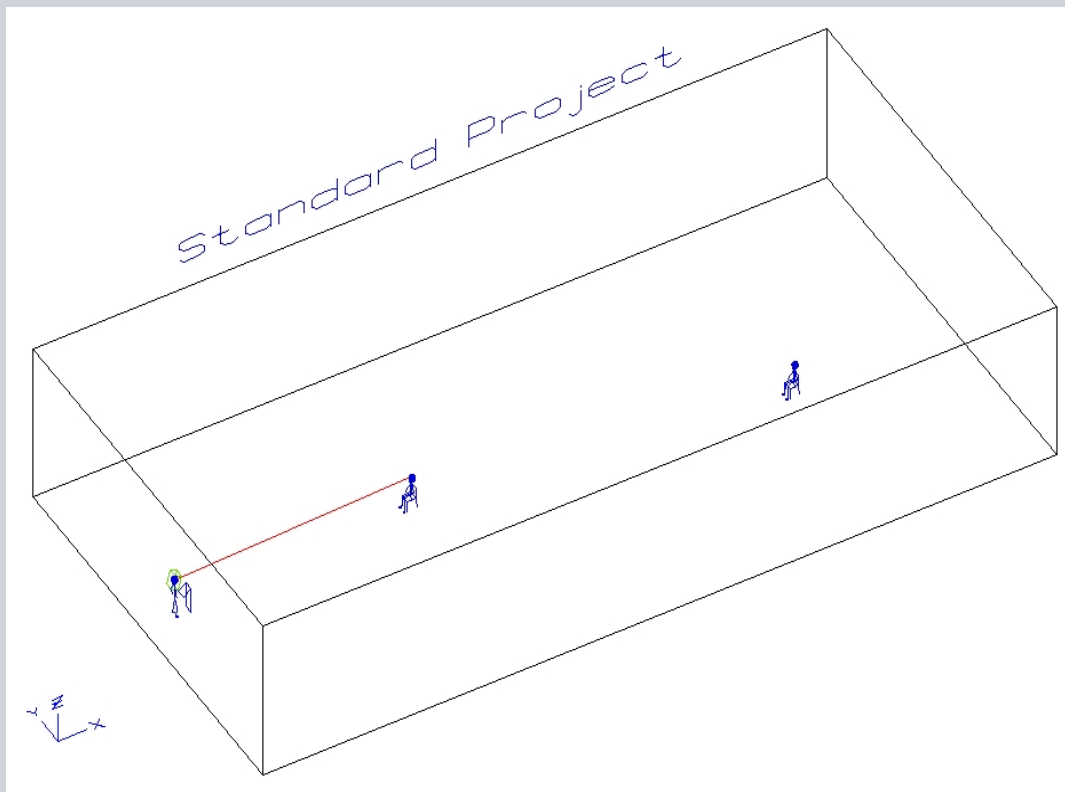
- S = 68 dB_{SPL} @ 4 m
S/N = 18 dB (68-50=18)
- S = 62 dB_{SPL} @ 8 m
S/N = 12 dB
- S = 56 dB_{SPL} @ 16 m
S/N = 6 dB
- S = 50 dB_{SPL} @ 32 m
S/N = 0 dB
- S = 44 dB_{SPL} @ 64 m
S/N = -6 dB

Richtwert: Eine Sprachalarmierungsanlage benötigt einen S/N Abstand von mind. 10 dB um die Verständlichkeit sicherzustellen.

Grundlagen

Raumakustik

Direktschall L_d

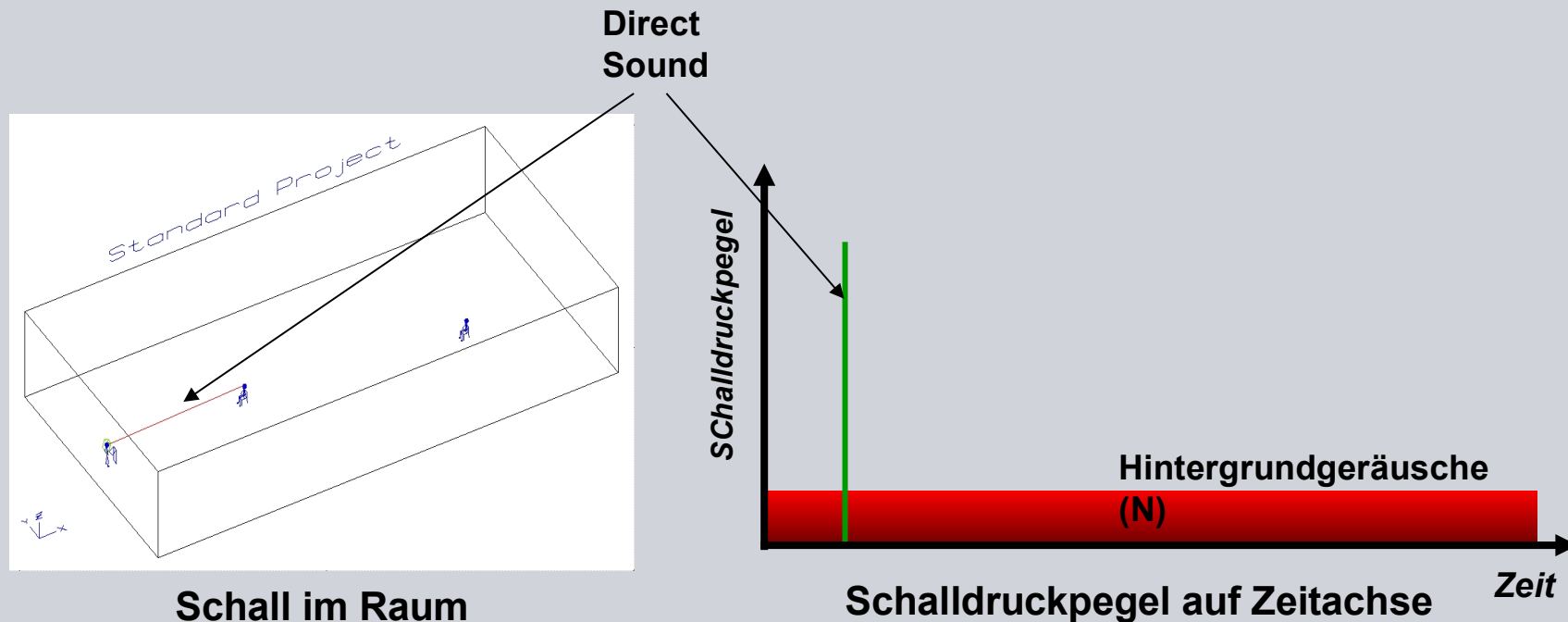


Der Direktschall bezeichnet dasjenige Signal, das den Zuhörer als erstes in direkter Linie, also ohne reflektiert worden zu sein, erreicht.

Der Pegel und die Signalverzögerung am Ort des Zuhörers entsprechen denjenigen Werten des offenen Raumes, die mittels quadratischem Abstandsgesetz berechnet werden.

Die Signalqualität wird dabei keine großen Änderungen erfahren haben.

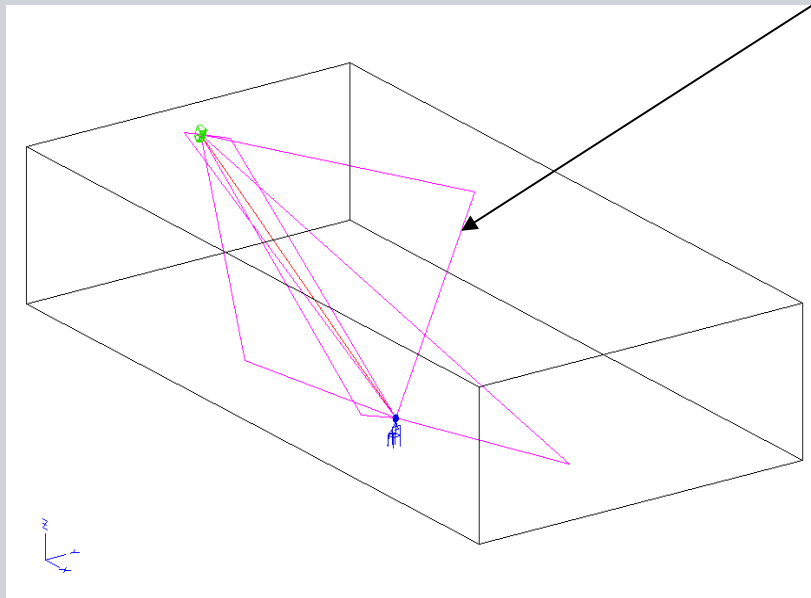
Direktschall Ld



Links wird der Weg vom Direktschall von der Quelle zum Empfänger aufgezeigt. Als Signal kann man sich einen Puls, "Klick" oder ein anderes Signal vorstellen, das alle Frequenzen beinhaltet.

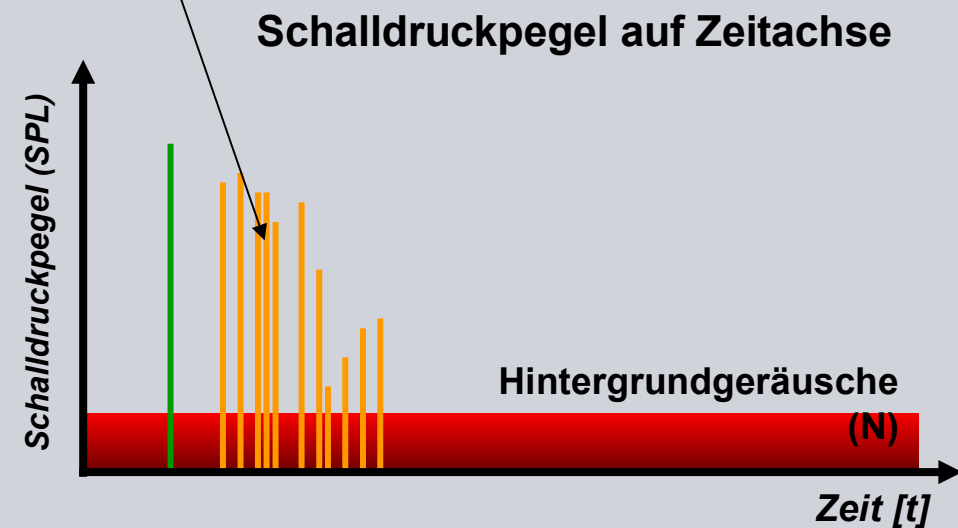
Rechts ist die Ankunftszeit dieses Pulses als grüne Linie aufgezeigt. Die Zeit zeigt, wie lange der Puls sich durch die Luft bewegen musste und die Höhe (SPL) zeigt den ankommenden Energiepegel der Welle.

Erste Reflektionen



Reflektionen 1. Ordnung

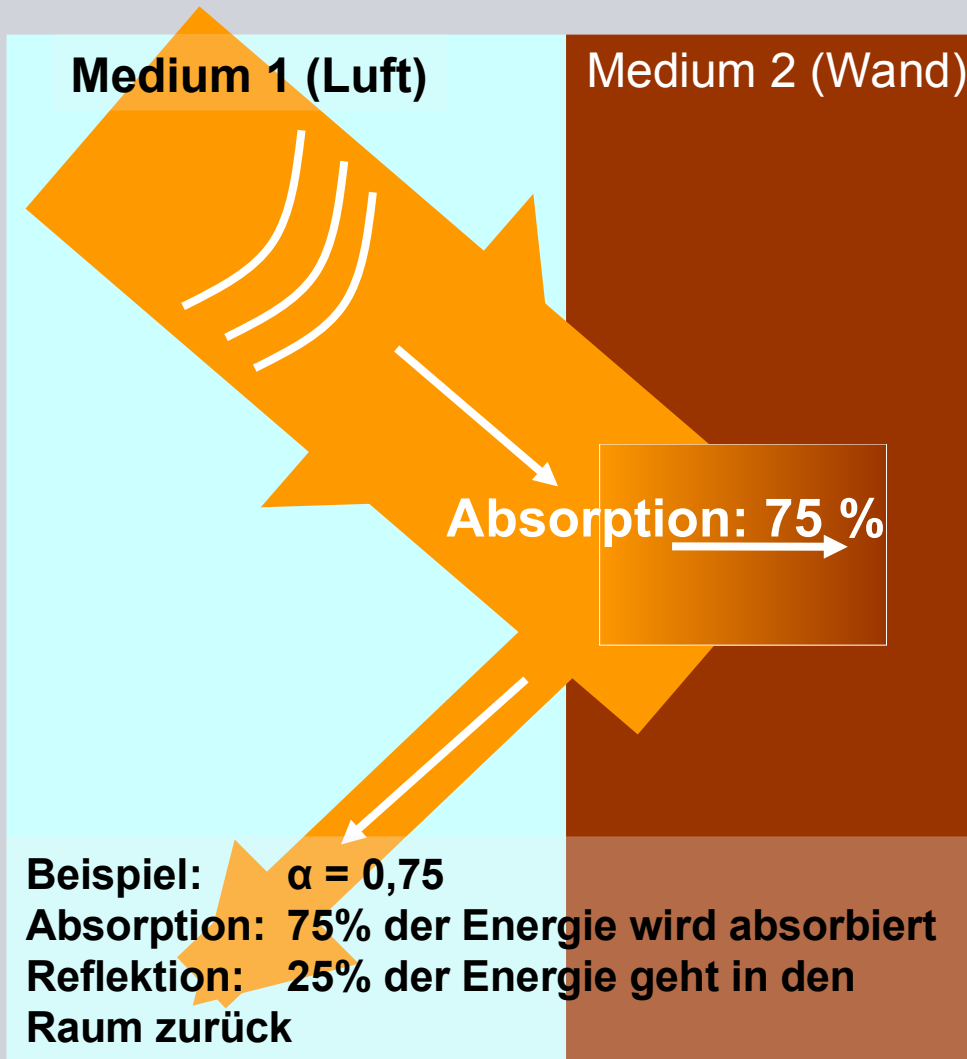
Frühe Reflektionen



Nach dem direkten Schall erreichen diejenigen Wellen den Zuhörer, die einmalig an den bestehenden Raumgrenzen, wie Decke, Wände, Böden oder Objekte reflektiert wurden. Diese Reflektionen nennt man Reflektion «1. Ordnung».

Reflexion und Absorption erzeugen Nachhall

Der Absorptions-Koeffizient α

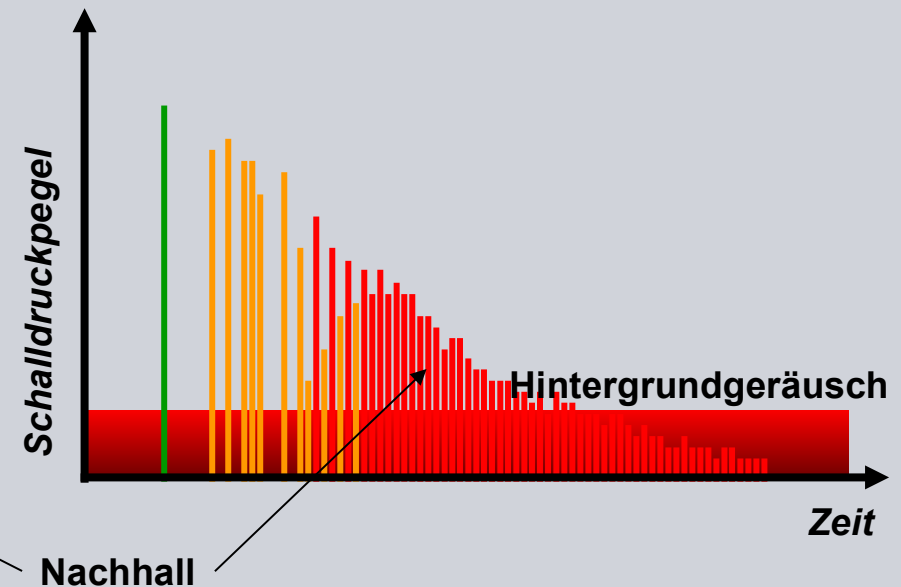
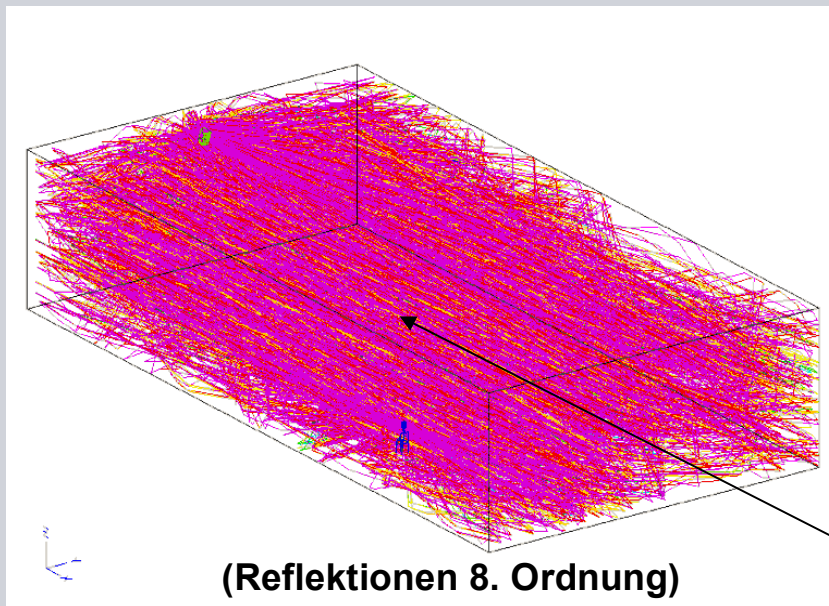


Jedes mal wenn eine Schallwelle auf einen Mediumwechsel (z.B. Luft auf Holz, Wände, Decke, etc) trifft, wird von einer Welle etwas Energie absorbiert und nur die verbleibende Restenergie geht zurück in den Raum (gilt generell für Licht, Schall, elektromagnetische Wellen, etc.).

Die Oberflächenbeschaffenheit einer Raumgrenze definiert unter anderem den Dämpfungskoeffizient, der den Grad der Energie-Absorption definiert.

Aber Achtung:
der effektive Grad der Absorption ist frequenzabhängig!

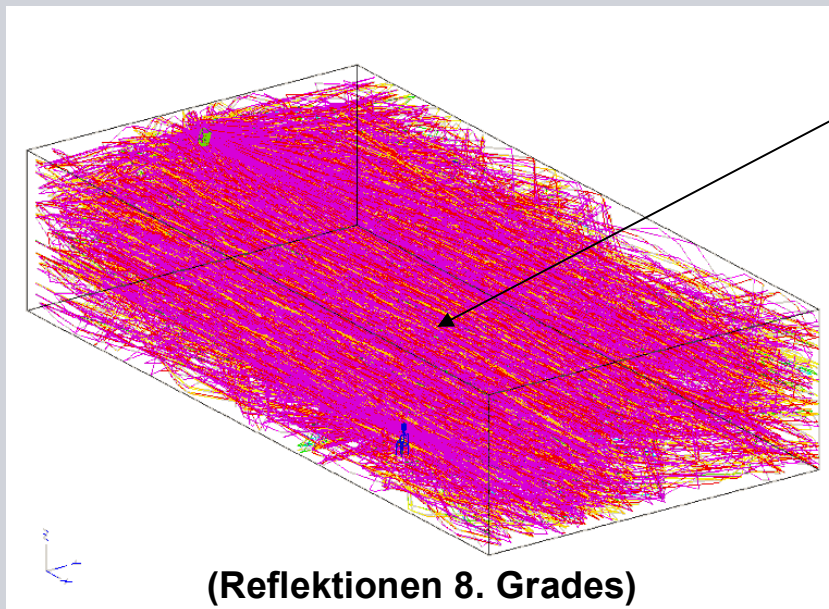
Diffuse Schallfelder oder Nachhall, Lr (Beispiel Reflexionen 8. Grades)



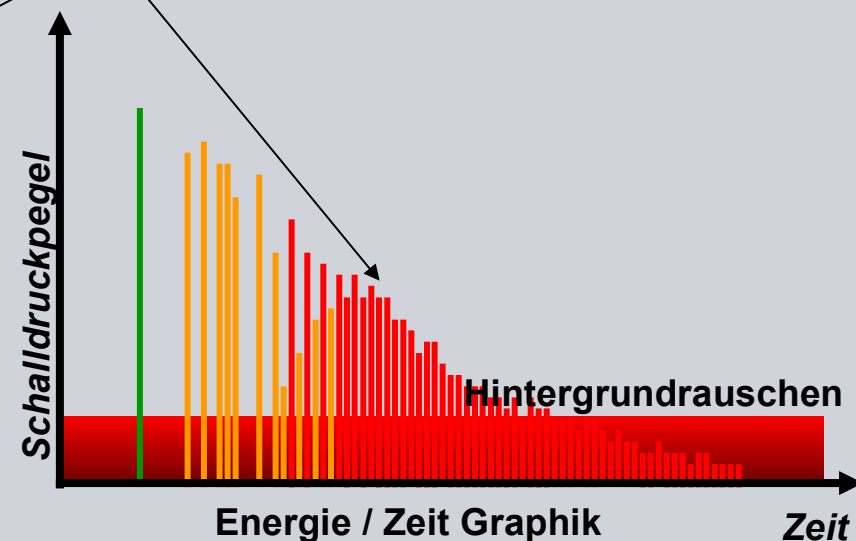
Als nächstes werden die reflektierte Schallwellen immer wieder an den Raumgrenzen reflektiert, bis zum Zeitpunkt, wo der Raum gleichmäßig mit einem diffusem Signal gefüllt, bzw. die reflektierte Energie total abgeklungen ist.

In der linken Simulationsgraphik sieht man die Reflexionen bis zur 8. Ordnung (8 x wurde das gleiche Signal reflektiert) und wie der Raum gänzlich gefüllt wird. In der rechten Graphik, sind die eingehenden Schalldruckpegel des ursprünglichen Pulses als Nachhall zu erkennen (rote Linien).

Diffuse Schallfelder oder Nachhall, Lr (Beispiel Reflexionen 8. Grades)



Nachhall = Diffuses Schallfeld



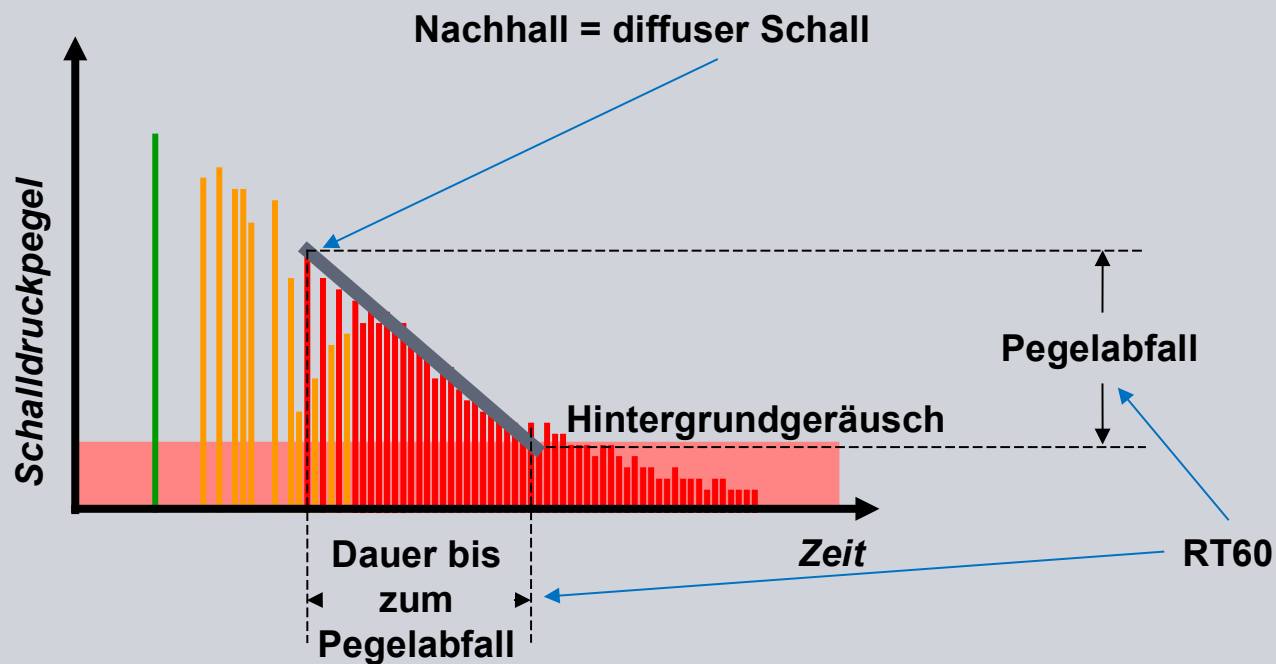
Das diffuse Schallfeld

- hat weder eine definierte Richtung noch eine Phase
- braucht eine gewisse Zeit um sich aufzubauen, wird aber durch die Raumgrenzen stark absorbiert

Schlussendlich, nach x-facher Reflektion des Signals, wird der Nachhall durch das Hintergrundrauschen überdeckt bzw. geschluckt und wird unhörbar.

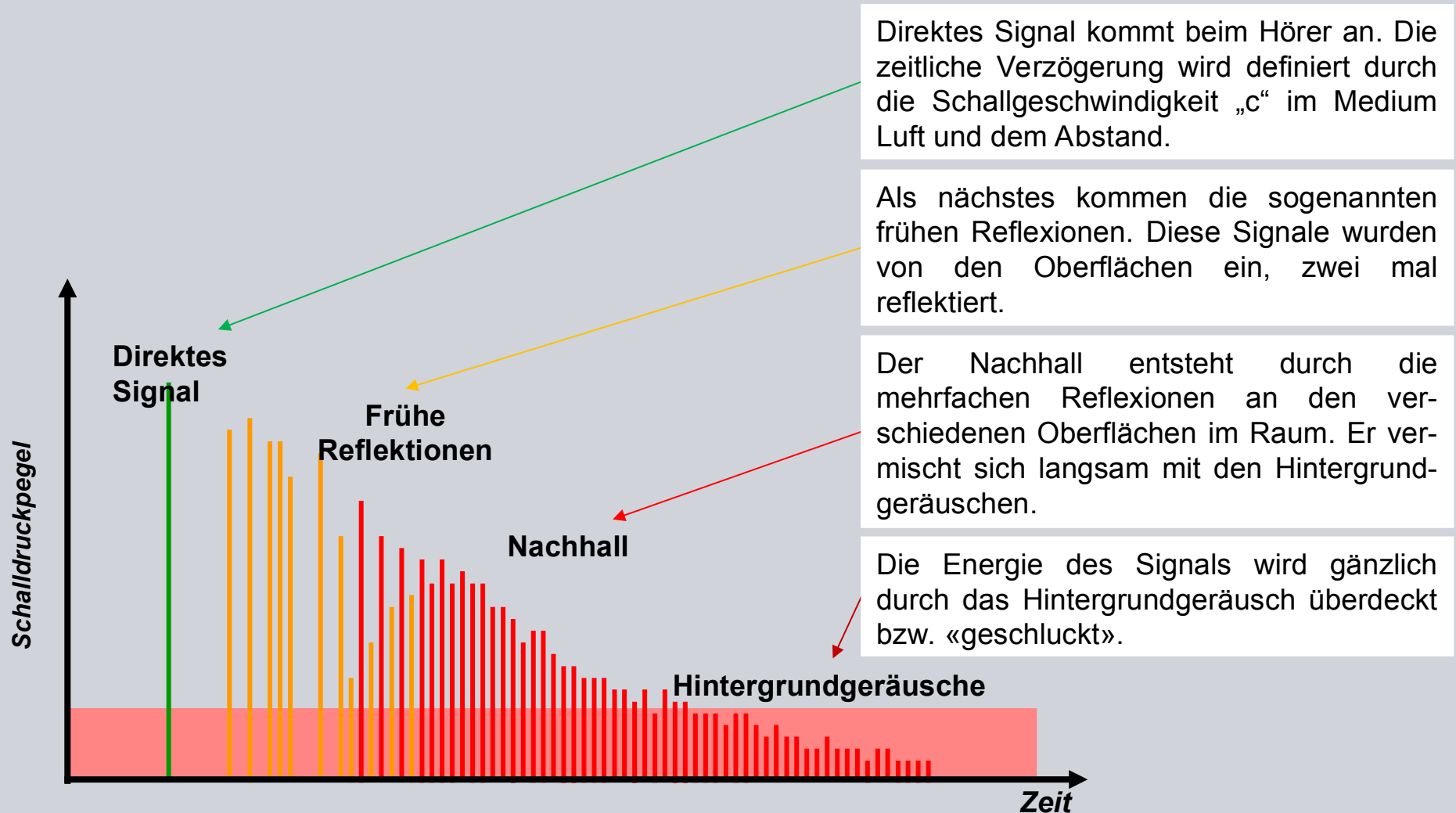
Diffuse Schallfelder oder Nachhall, Lr

Die Nachhallzeit RT60

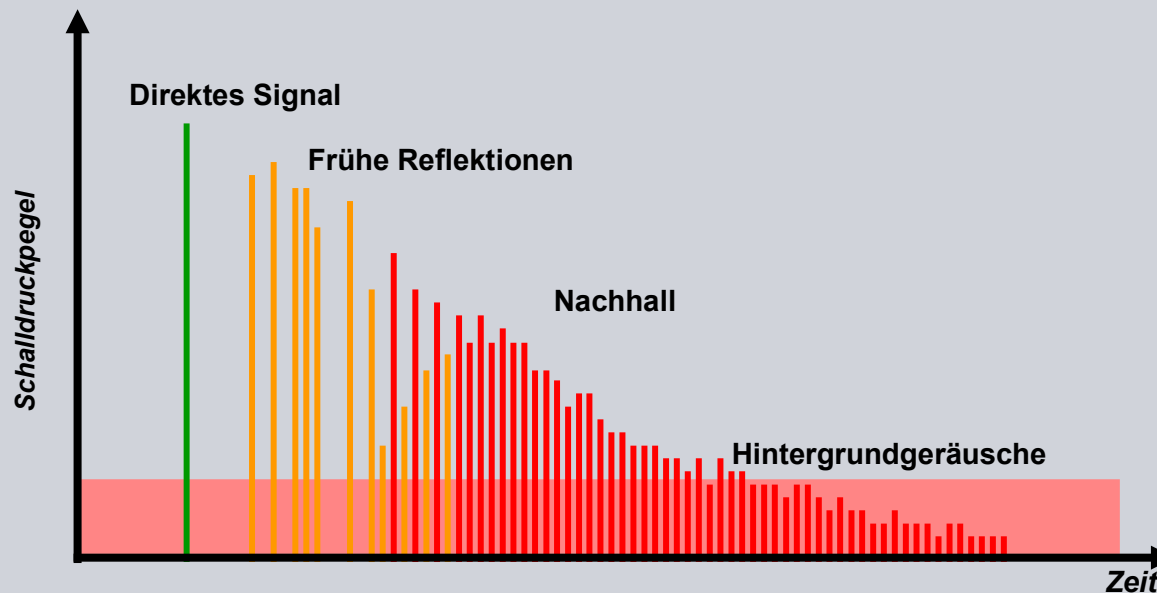


- Der Pegelabfall von einem diffusen Schallfeld benötigt eine gewisse Zeit.
- Die Zeit, die benötigt wird, um einen Abfall von 60dB zu erreichen wird RT60 genannt.
- Die Nachhallzeit RT60 hängt von der Raumgröße und seinen akustischen Absorptionseigenschaften ab.
- RT60 kann gemessen und errechnet werden.

Eine typische Energie / Zeit Darstellung in einem nachhallenden Raum



Eine typische Energie/Zeit Kurve in einem nachhallenden Raum



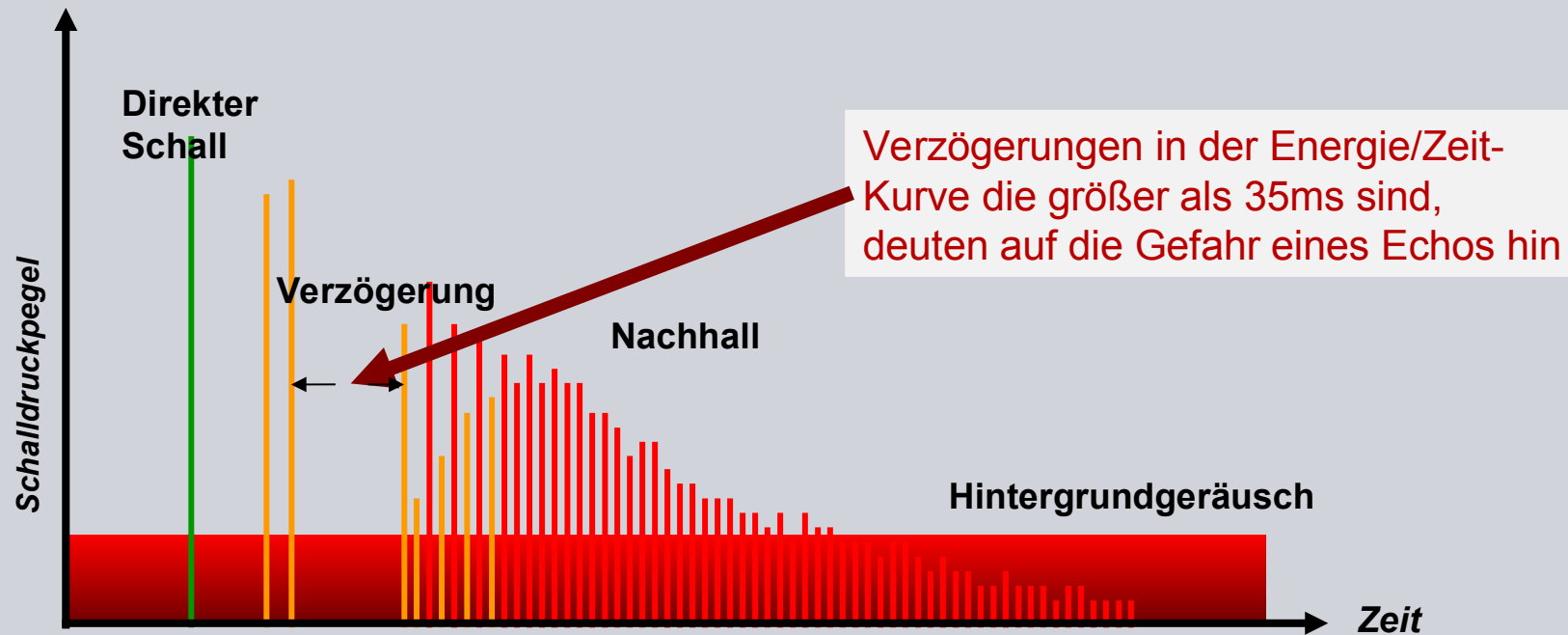
Jeder Position im Raum hat eine eigene, einzigartige Energie / Zeit Charakteristik

- Ort der Quelle und des Empfängers wird das Bild ändern
- Das Verändern der akustischen Eigenschaften eines Raumes, wie das Einbringen von Möbel, Teppichen, etc. wird das Bild verändern
- Das Einfügen von Signalfiltern wird ebenfalls das Bild verändern

Diese Kurve ist der Fingerabdruck für jeden Punkt eines Raumes (Abhängig vom Ort der Quelle und des Empfängers)

Reflexionen, Nachhall und Echo's

Frühe Reflexionen mit einer Verzögerung

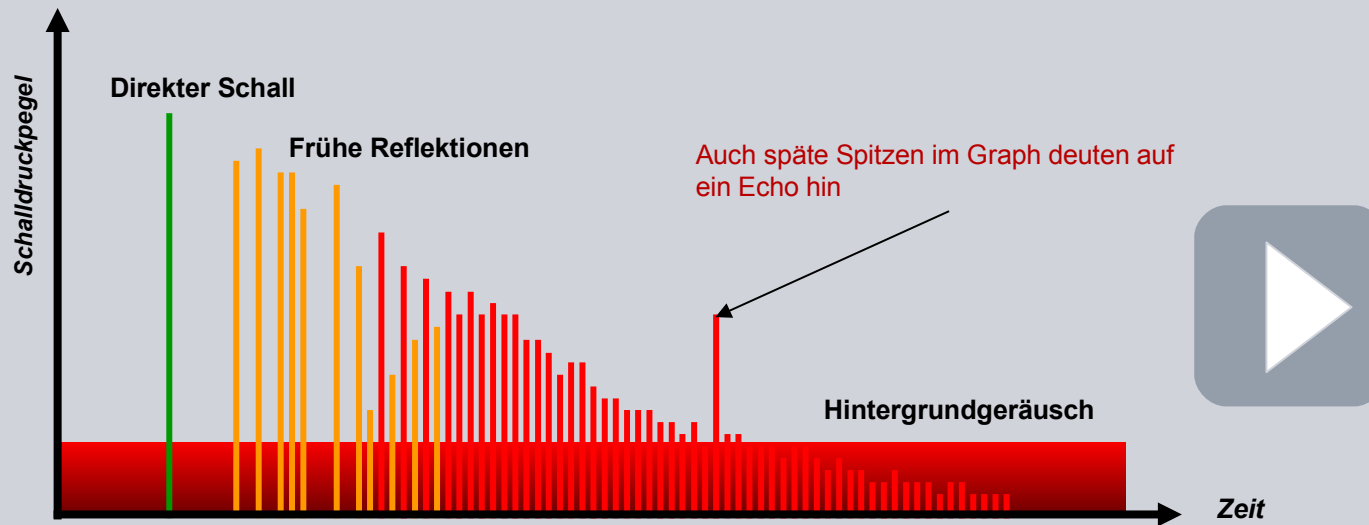


Beim Eintreffen der ersten Signalanteile (Direktschall) beginnt das menschliche Gehör zu «messen». Alle nachfolgenden weiteren Signale (frühe Reflexionen) werden diesem Signal zugeordnet und in ein gesamtes Signal integriert. Die Integrationszeit beträgt 35-50 ms.

Wird die Verzögerung zwischen direkter Schall und frühen Reflexionen größer als 35 ms beginnt das Gehör, diese Reflexionen als neues, unabhängiges Signal zu interpretieren
→ Echo

Reflektionen, Nachhall und Echos

Nachhall mit Spitzen



Eine einzelne oder mehrere Spitzen im Nachhall, die mit großem Schalldruckpegel eintreffen, können ebenfalls ein Echo erzeugen.

Verzögerungen und Spitzen werden durch die Raumgestalt (Dimensionen), die Absorptionseigenschaften sowie durch den Ort der Quelle und der Position des Empfängers erzeugt. Bündelnde und reflektierende Oberflächen sind für die akustischen Eigenschaften ebenfalls kritisch.

Fazit:

Ein akustisch gesunder Raum besitzt eine gleichmäßige und sanft abfallende Energie / Zeit Charakteristik, ohne große Lücken und späte Ausreißer.

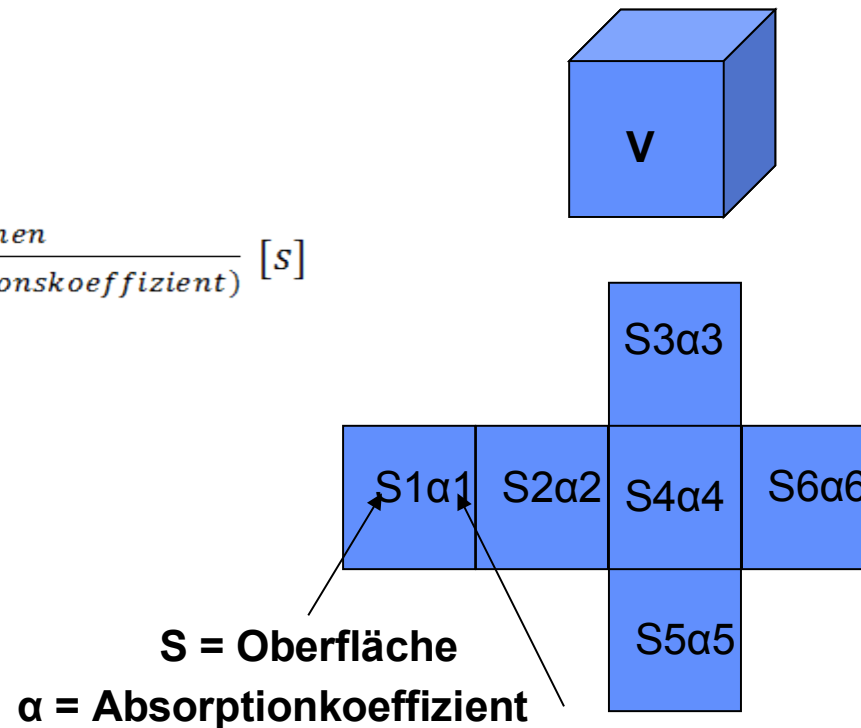
Nachhallzeit RT_{60} nach W.C. Sabine



RT_{60} wird ausgehend vom Raumvolumen und den entsprechenden Absorptionskoeffizienten der einzelnen Oberflächen errechnet

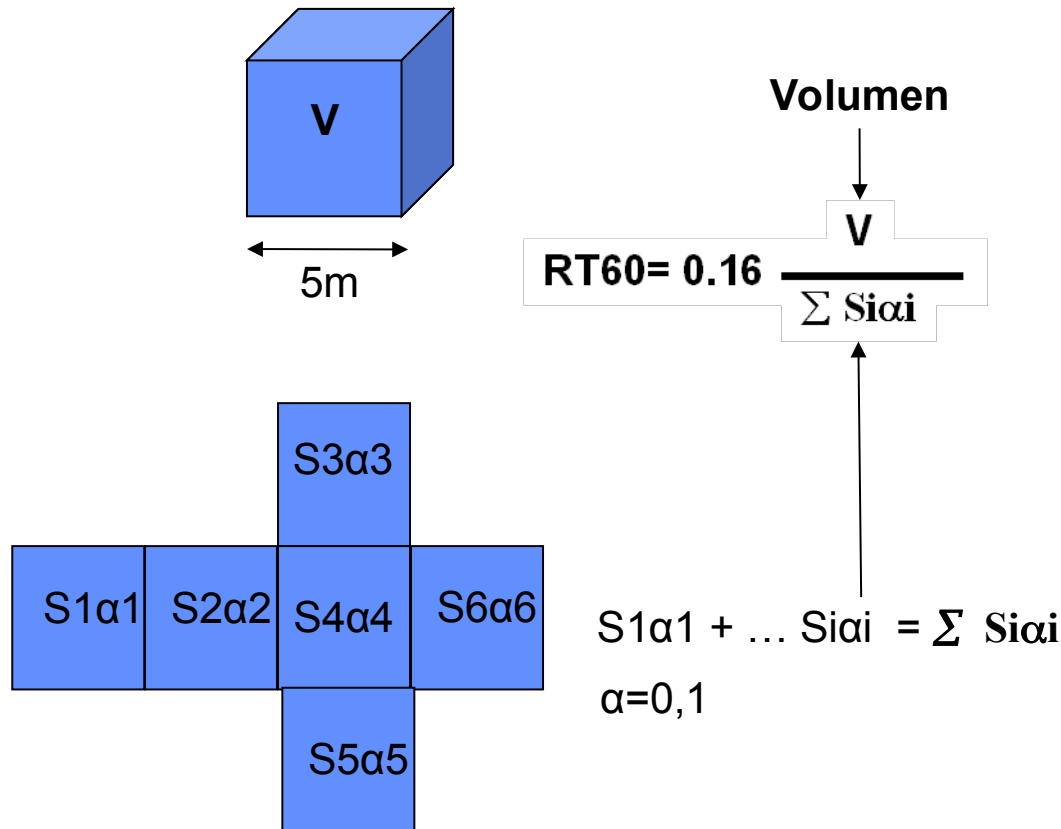
$$RT_{60} = k \times \frac{\text{Raumvolumen}}{\Sigma(\text{Oberfläche} \times \text{Absorptionskoeffizient})} [s]$$

$$k = \frac{24 \times \ln 10}{340 \frac{m}{s}} = 0.163 \frac{s}{m}$$



Nachhallzeit RT_{60} nach W.C. Sabine

Rechnung

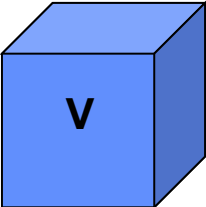


Berechne den RT_{60} für einen Würfel mit 5 m Seitenlänge. Alle Oberflächen haben einen Absorptionskoeffizienten von $\alpha = 0,1$ @ 2 kHz.

Nachhallzeit RT_{60} nach W.C. Sabine

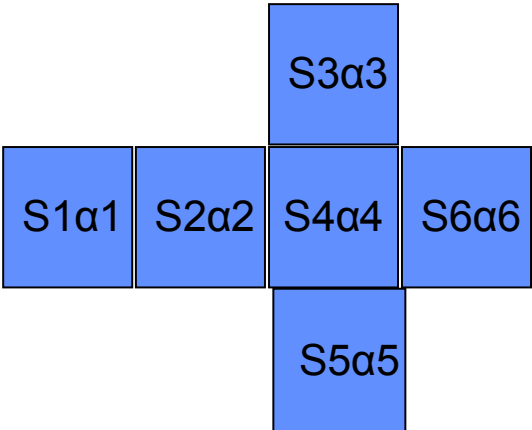
Rechnung





5m

Volumen

$$RT_{60} = 0.163 \frac{s}{m} \times \frac{125m^3}{6 \times 25m^2 \times 0.1} = 1.3s$$

$$S1\alpha1 + \dots S6\alpha6 = \sum_{\alpha=0,1} S\alpha i$$

RT_{60} für einen Würfel
mit 5m Seitenlänge
und einen $\alpha = 0,1$
@ 2 kHz ist
ungefähr 1,3
Sekunden

Gleichungen für die Nachhallzeitberechnung: Sabine, Eyring and Fitzroy



REVERBERATION TIME EQUATIONS: T = 60 dB DECAY TIME IN SECONDS		
EQUATION:	ENGLISH UNITS: S = SURFACE AREA IN FT ² V = VOLUME IN FT ³	SI UNITS: S = SURFACE AREA IN m ² V = VOLUME IN m ³
SABINE – GIVES BEST CORRESPONDENCE WITH PUBLISHED ABSORPTION COEFFICIENTS WHERE $\bar{\alpha}$ IS LESS THAN 0.2	$T = \frac{.049V}{S\bar{\alpha}}$	$T = \frac{.16V}{S\bar{\alpha}}$
EYRING – PREFERRED FORMULA FOR WELL-BEHAVED ROOMS HAVING $\bar{\alpha}$ GREATER THAN 0.2 OR SO	$T = \frac{.049V}{-S \ln (1 - \bar{\alpha})}$	$T = \frac{.16V}{-S \ln (1 - \bar{\alpha})}$
FITZROY-(SABIN) – FOR RECTANGULAR ROOMS IN WHICH ABSORPTION IS NOT WELL DISTRIBUTED.	$T = \frac{.049V}{S^2} \left(\frac{X^2}{X\alpha_x} + \frac{Y^2}{Y\alpha_y} + \frac{Z^2}{Z\alpha_z} \right)$	$T = \frac{.16V}{S^2} \left(\frac{X^2}{X\alpha_x} + \frac{Y^2}{Y\alpha_y} + \frac{Z^2}{Z\alpha_z} \right)$
α_x , α_y , AND α_z ARE AVERAGE ABSORPTION COEFFICIENTS OF OPPOSING PAIRS OF SURFACES WITH TOTAL AREAS x, y, AND z.		

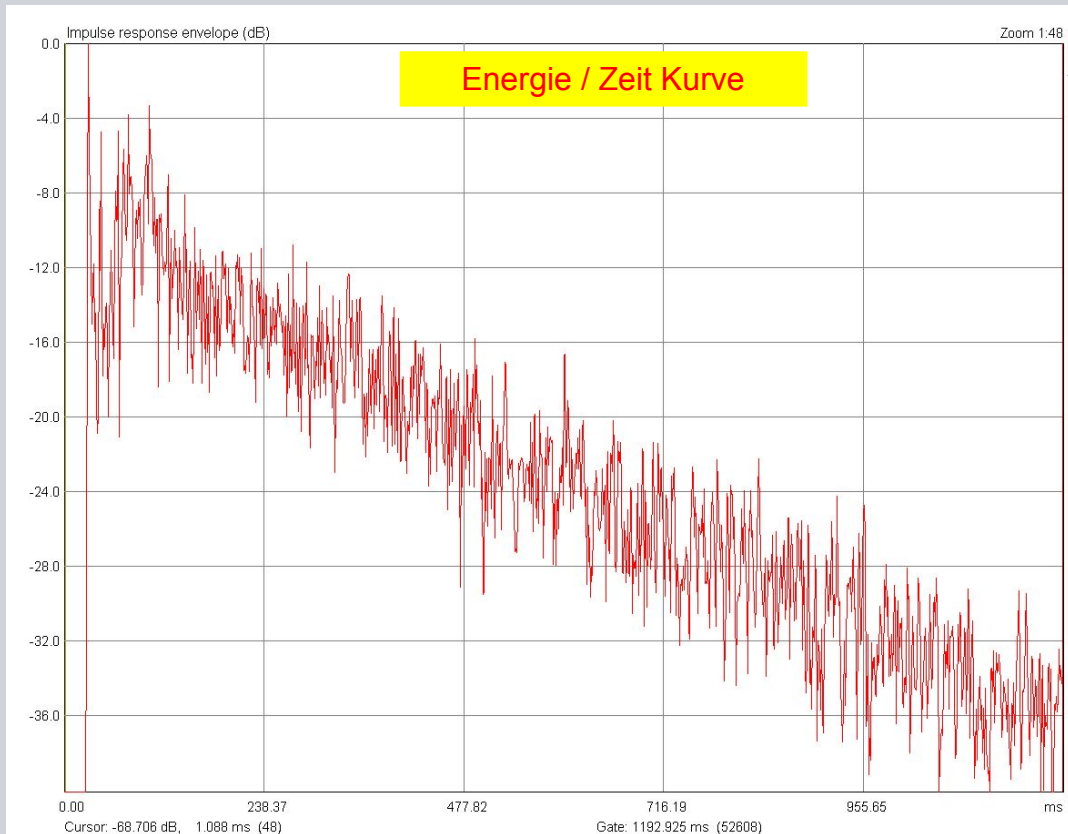
Figure 5-9. Reverberation time equations

Es existieren verschiedene Modelle und Algorithmen um den RT_{60} zu berechnen

Für «normale» Räume wird die Berechnung gemäß Sabine verwendet.

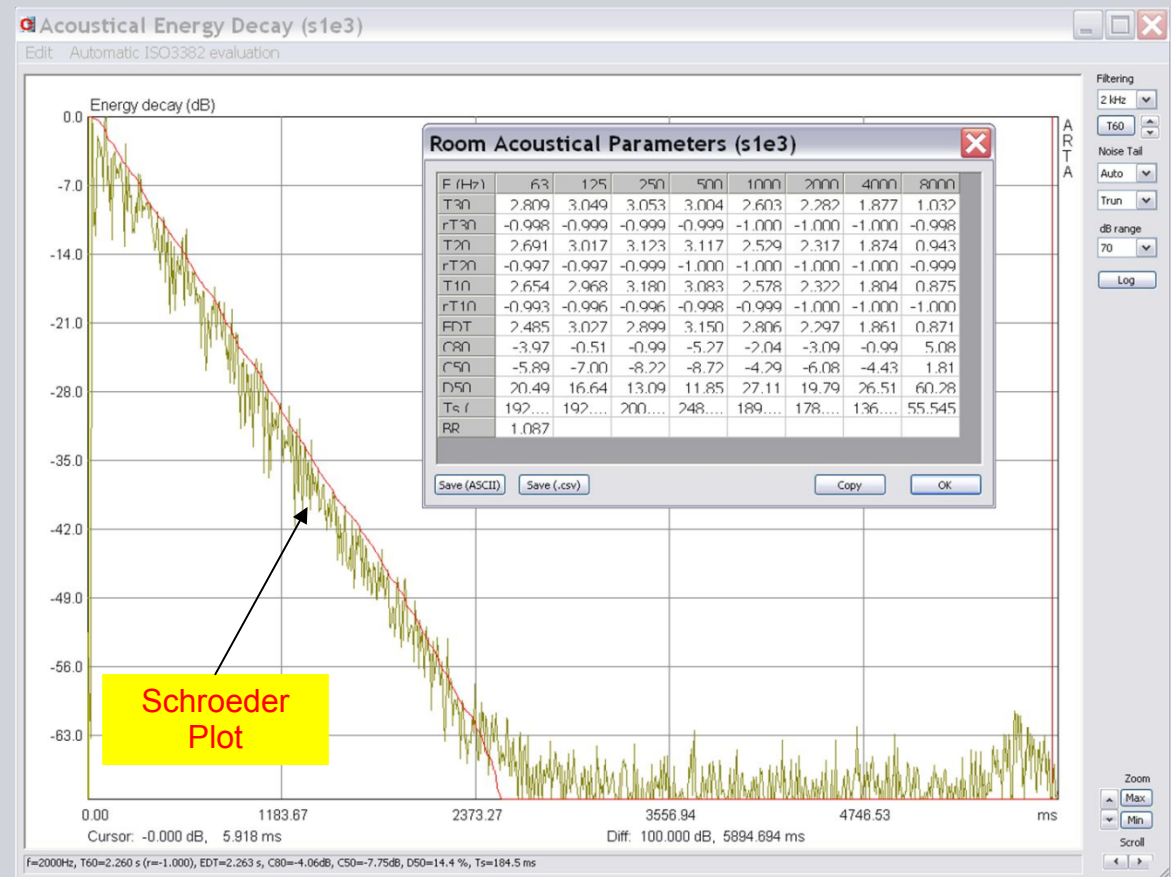
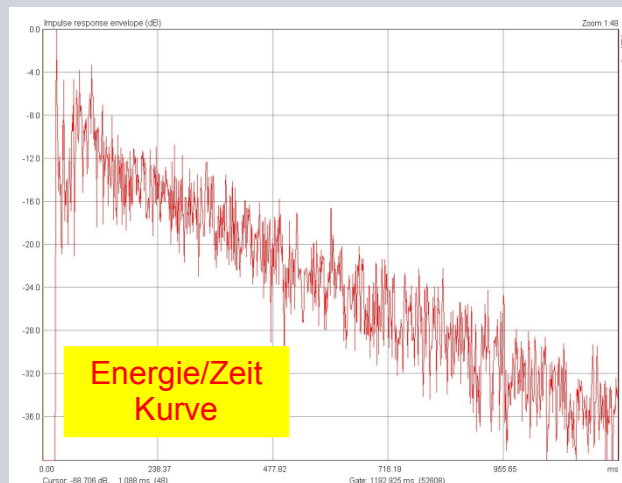
In Räumen mit sehr starken Absorptionen empfiehlt sich die Berechnung gemäss Eyring.

Messung der Nachhallzeit RT_{60}



Echte Messung, mit einem typischen Setup: ein omni-direkter Kugellautsprecher füllt den Raum mittels eines Signales mit Energie und ein omni-direktes Mikrofon nimmt den ankommenden Schall auf und gibt sie an einen Laptop zur Aufzeichnung weiter.

Messung der Nachhallzeit RT_{60}



Von der Energie / Zeitkurve wird ein sogenannter Schroeder-Plot (rote Linie, entspricht einer Rückwärtsintegration) erstellt um die Auflösung zu glätten

Messung der Nachhallzeit RT_{60}

Berechnung, basierend auf dem Schroeder-Plot



Room Acoustical Parameters (s1e3)								
F (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
T_{30}	2.809	3.049	3.053	3.004	2.603	2.282	1.877	1.032
rT_{30}	-0.998	-0.999	-0.999	-0.999	-1.000	-1.000	-1.000	-0.998
T_{20}	2.691	3.017	3.123	3.117	2.529	2.317	1.874	0.943
rT_{20}	-0.997	-0.997	-0.999	-1.000	-1.000	-1.000	-1.000	-0.999
T_{10}	2.654	2.968	3.180	3.083	2.578	2.322	1.804	0.875
rT_{10}	-0.993	-0.996	-0.996	-0.998	-0.999	-1.000	-1.000	-1.000
EDT	2.485	3.027	2.899	3.150	2.806	2.297	1.861	0.871
C_{80}	-3.97	-0.51	-0.99	-5.27	-2.04	-3.09	-0.99	5.08
C_{50}	-5.89	-7.00	-8.22	-8.72	-4.29	-6.08	-4.43	1.81
D_{50}	20.49	16.64	13.09	11.85	27.11	19.79	26.51	60.28
T_{60}	192....	192....	200....	248....	189....	178....	136....	55.545
RR	1.087							

Save (ASCII) Save (.csv) Copy OK

Empfohlene RT_{60} Werte nach DIN 18041

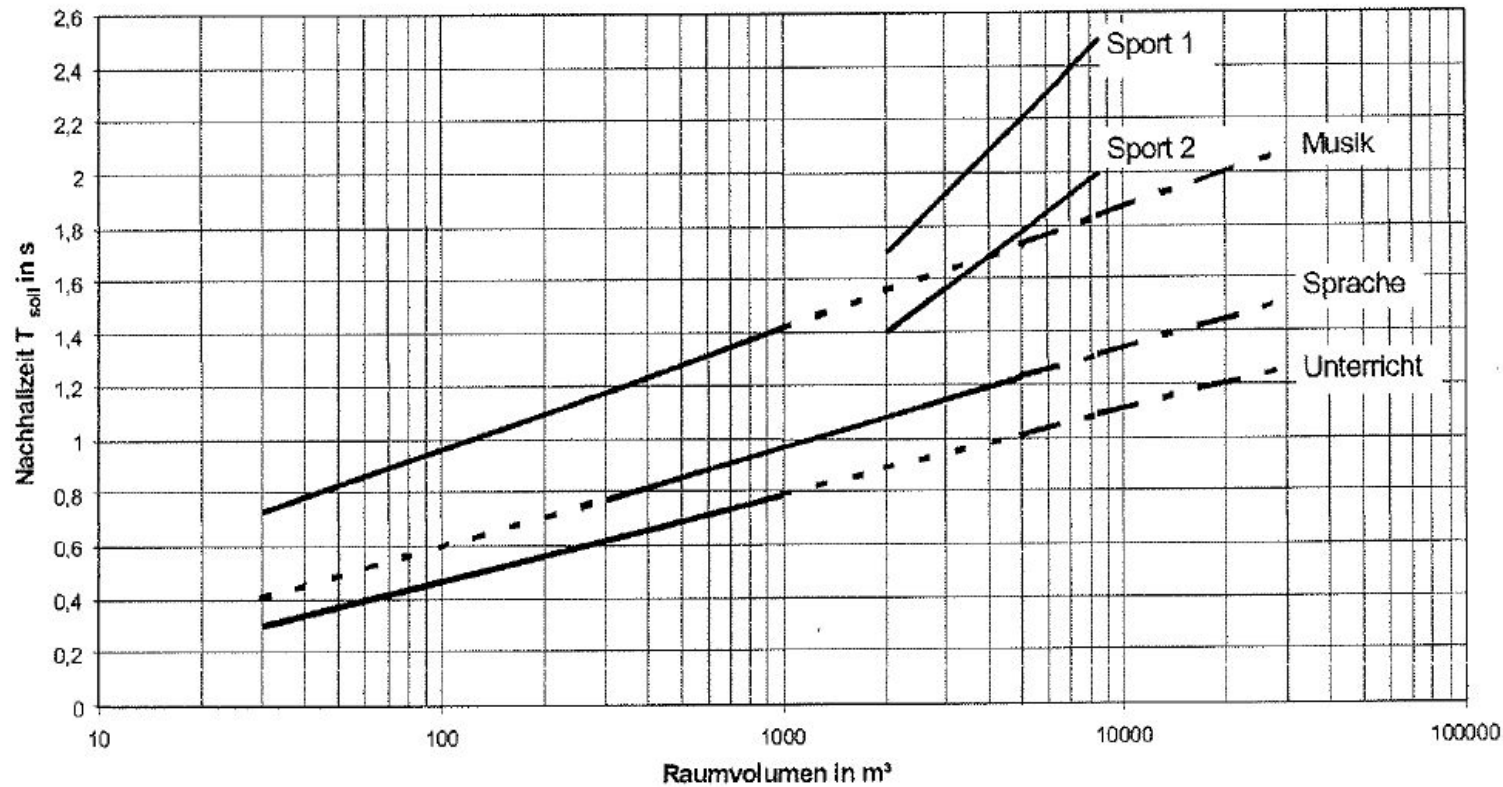
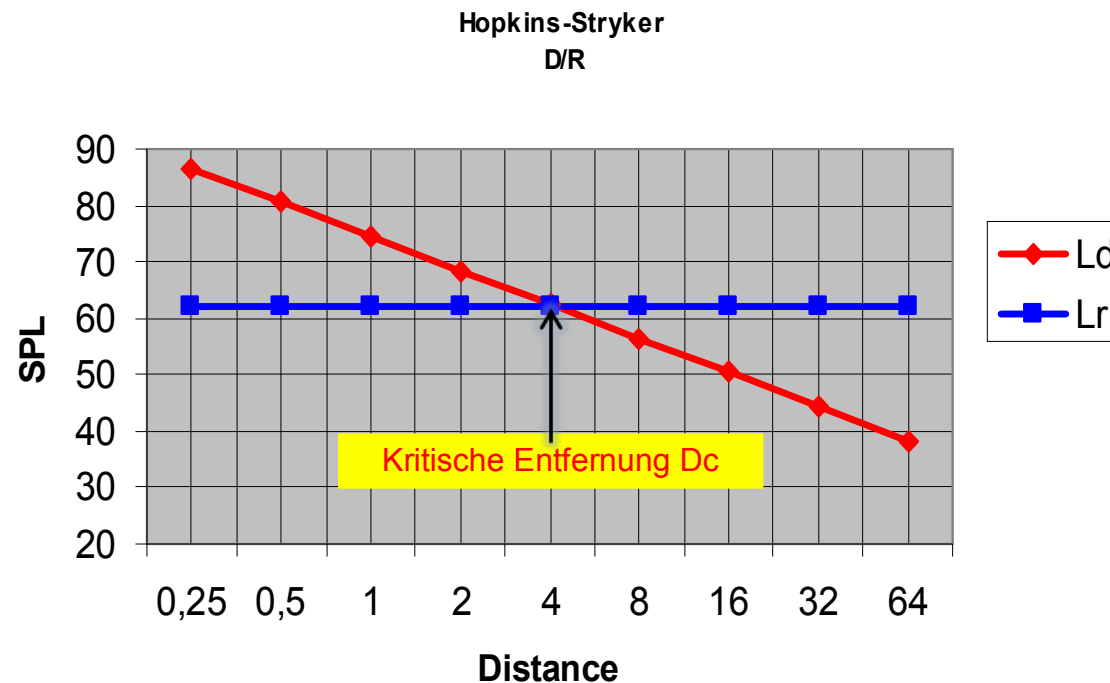


Bild 1 — Sollwert T_{Soll} der Nachhallzeit für unterschiedliche Nutzungsarten

Direkter Schall und Nachhall, Ld & Lr Kritische Entfernung Dc und Hallradius rH



Hinweis: je besser der Abstand zwischen D / R wird, desto besser wird die Verständlichkeit

Hinweis: das Nachhallfeld wird durch den gesamten direkten Schall generiert

Die Graphik zeigt den direkten Schalldruckpegel Ld mit einem Abfall von 6dB pro verdoppelter Weglänge.

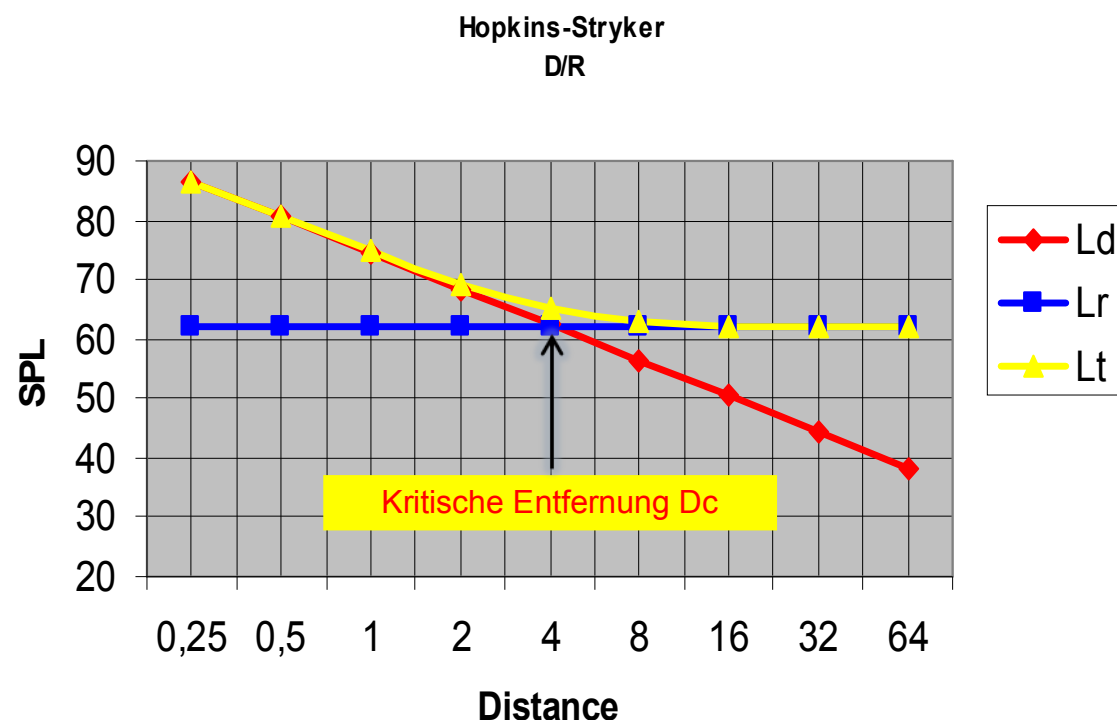
Ebenfalls wird das über die Distanz konstante Nachhallfeld Lr (diffuser Schall) gezeigt.

Als Resultat bekommt in Abhängigkeit zum Abstand zur Quelle ein unterschiedliches Verhältnis zwischen direktem und nachhallendem Schall (D/R).

Die kritische Distanz Dc bezeichnet den Ort mit gleich grossem Direkt- und Nachhallpegel Ld bzw. Lr.

Dc bezeichnet in der Akustik einen sehr wichtigen Parameter.

Das gesamte Schallfeld $L_t = L_d + L_r$



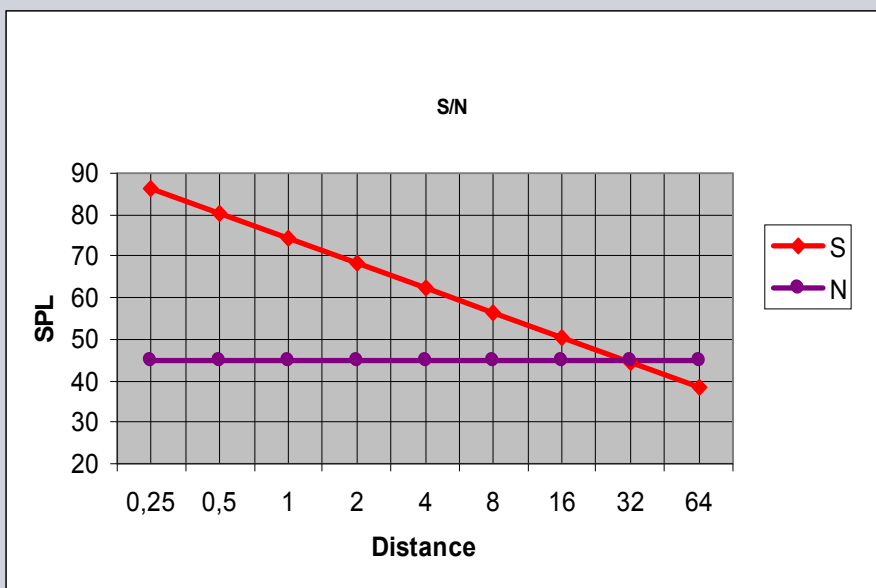
Die Graphik zeigt den direkten Schalldruckpegel L_d und das Nachhallfeld L_r

Ebenfalls wird L_t , die Summe der Schallpegel von L_d und L_r , aufgezeigt.

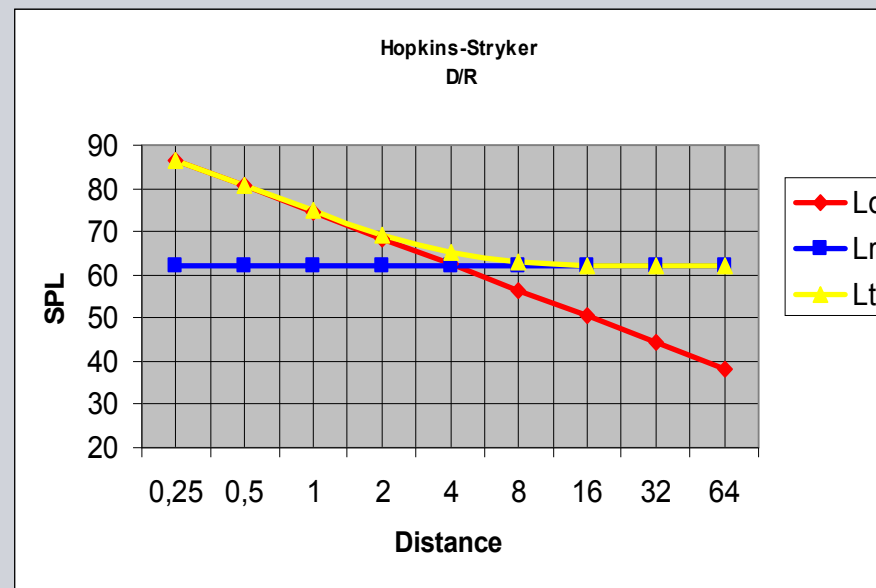
L_t ist der Schalldruckpegel welcher bei einer konstant energieabgebenden Punktquelle über eine gewisse Zeit gemessen werden kann
Nach der kritischen Distanz wird für einen Zuhörer das Nachhallfeld und das Signal addiert und „verschwindet“

L_d und L_r werden durch die gleiche Quelle erzeugt und beide addieren sich zum Signalpegel L_d bis die kritische Distanz D_c erreicht wird. Bis dahin verhält sich L_t wie im offenen Raum und nimmt entsprechend ab. Danach bleibt L_t konstant auf der Höhe des Nachhalls L_r

Achtung: Signal / Noise entspricht nicht dem Direktschall / Nachhall und Schallfeld

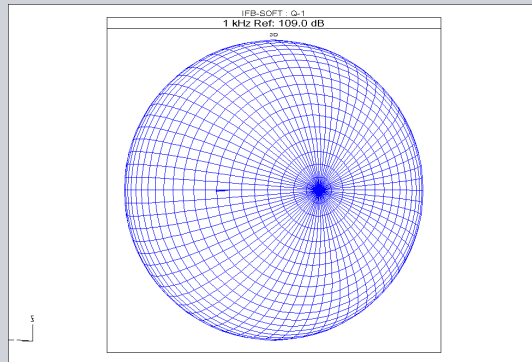


Das Verhältnis von Signal zum Störgeräusch ist ein Verhältnis von unabhängigen Signalpegeln von unterschiedlichen Quellen, der Signalpegel S und der Störgeräuschpegel N

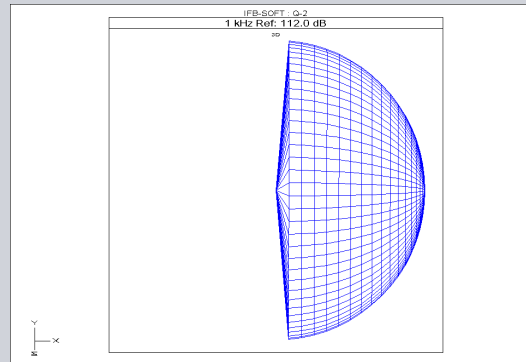


Der ganze direkte Schall Ld wird zum Nachhallfeld Lr gewandelt und addiert sich zum Schallfeld Lt (über eine lange Zeitperiode, bei einem konstanten Signal)
Ld, Lr und Lt kommen alle von der gleichen Quelle. Lt ist der Signalpegel in einem nachhallenden Raum.

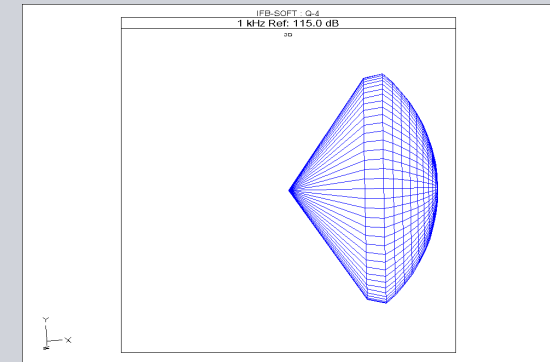
Der Richtfaktor einer Quelle, Q & DI



Q = 1



Q = 2



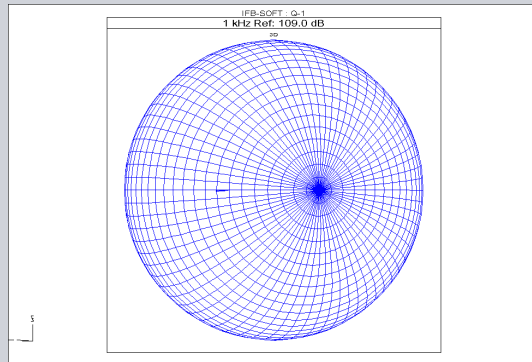
Q = 4

Die Graphiken zeigen die Richtcharakteristika verschiedener Quellen mit unterschiedlichen Richtfaktoren (Richtungsballons). Diese Richtungsballone sind 3-D Ausdrücke des direkten Schallpegels L_d . Diese Ballons zeigen, wohin die Energie des direkte Schalles abgestrahlt wird.

In diesem theoretischen Beispiel, wird der Schall beim Richtfaktor $Q = 1$ gleichmäßig als Kugel ausgestrahlt. Bei einem Richtfaktor $Q = 2$ hat man eine Halbkugel und bei $Q = 4$ wird der Schall auf eine «Viertelkugel» gerichtet. Unter der Annahme, dass immer die gleiche Energie ausgestrahlt wird, nimmt natürlich die Energiedichte in Abstrahlrichtung zu, aber nimmt mit steigendem Abstand zur Abstrahlrichtung ab.

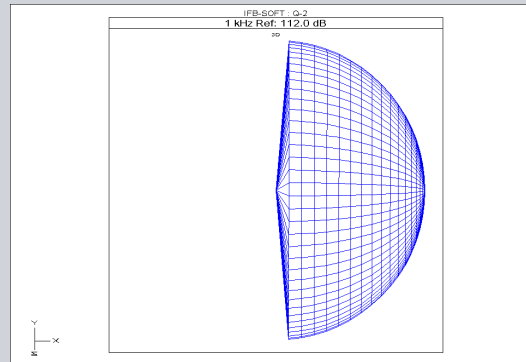
Q beschreibt die Veränderung der Energiedichte, verglichen mit der Energiedichte einer omni-direktionalen Punktquelle ($Q = 1$). Je höher Q , desto kleiner ist i. d. R. der Abdeckungsgrad bzw. Abstrahlwinkel.

Das Richtungsmaß einer Quelle, Q & DI



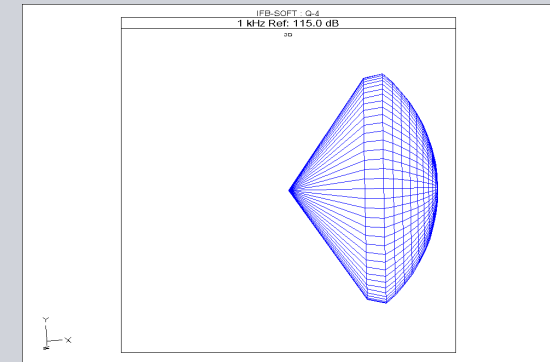
Q = 1

DI = 0 dB



Q = 2

DI = 3 dB



Q = 4

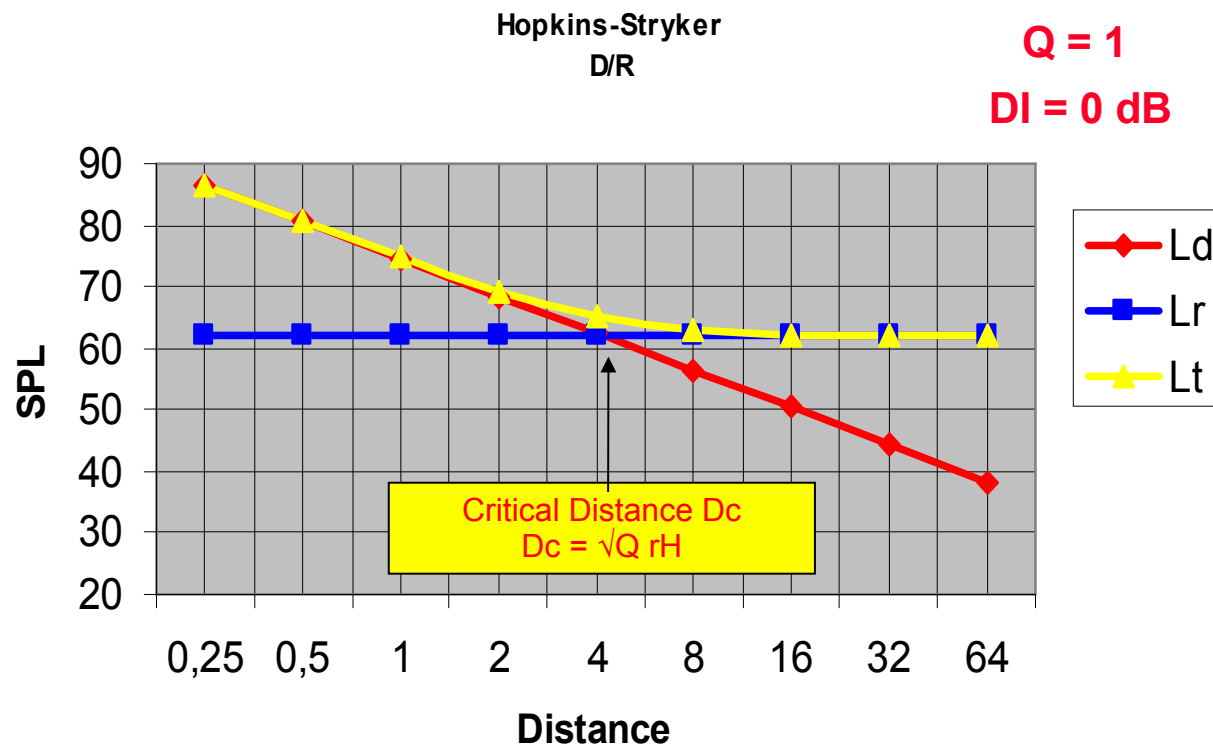
DI = 6 dB

$$DI = 10 \log Q$$

Das Richtungsmaß ist der Logarithmus von Q in dB. Daher zeigt DI auch die Veränderung des Schalldruckpegels verglichen mit einer omni-direktionalen Punktquelle (Q = 1 und DI = 0 dB).

Unter der Annahme, dass die abgestrahlte Energie sich in allen drei Fällen nicht verändert, wird sich auch das Nachhallfeld nicht verändern. Aber der direkte Schall Ld wird sich mit ansteigendem DI in Abstrahlrichtung verstärken (z.B. 3 dB bei Q = 2). Dieses Verhalten kann genutzt werden, um den Ld/Lr oder D/R Abstand zu vergrößern und damit auch die Verständlichkeit.

Schallfeld $L_t = L_d + L_r$, Hallradius rH



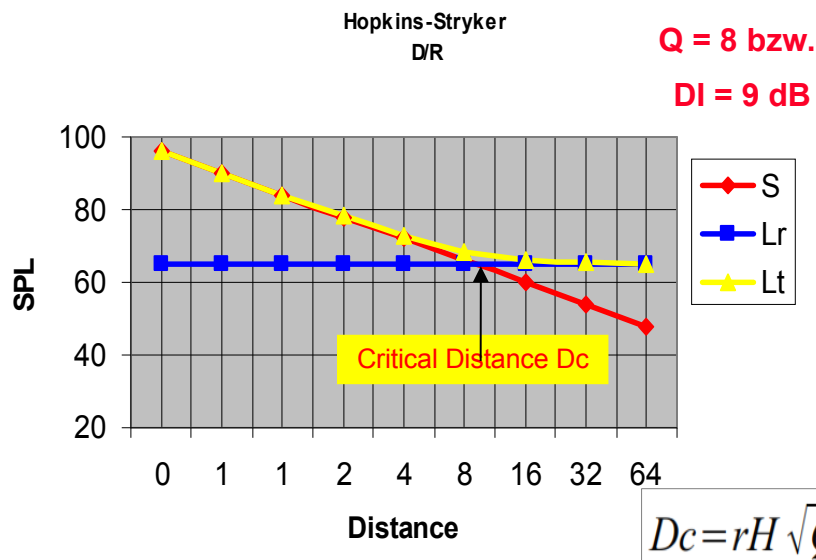
Die Graphik zeigt den direkten Schalldruckpegel L_d und das Nachhallfeld L_r für ein Raumvolumen (5.000m^3) und einem RT_{60} von ca. 1,8 s bei einer omni-direktionalen Punktquelle (bei $Q = 1$, $DI = 0 \text{ dB}$ ist D_c auch gleich dem Hallradius rH). Der Graph zeigt auch den gesamten Schallpegel L_t als die Summe von L_d und L_r

Was wird passieren, wenn wir eine Quelle mit höherer Bündelung/Richtwirkung wählen?

$$rH = 0,057 \cdot \sqrt{\frac{V}{RT_{60}}}$$

$$D_c = rH \sqrt{Q}$$

Schallfeld $L_t = L_d + L_r$, der Effekt des Richtfaktors



Tipp: gebrauchte Quellen mit einem vernünftigen Richtfaktor Q und versuche das zu beschallende Gebiet exakt zu treffen. Dies ergibt das beste Resultat bzgl. der Verständlichkeit.

Jede Beschallungsenergie, die nicht zur direkten Abdeckung in einen Raum gegeben wird, füllt ihn mit Nachhallenergie, die schlussendlich die Verständlichkeit mindert.

Die Graphik zeigt die gleiche Situation wie bei der Vorhergehenden, nur jetzt wird eine Quelle mit höherem Richtfaktor verwendet ($Q = 8$, $DI = 9$ dB).

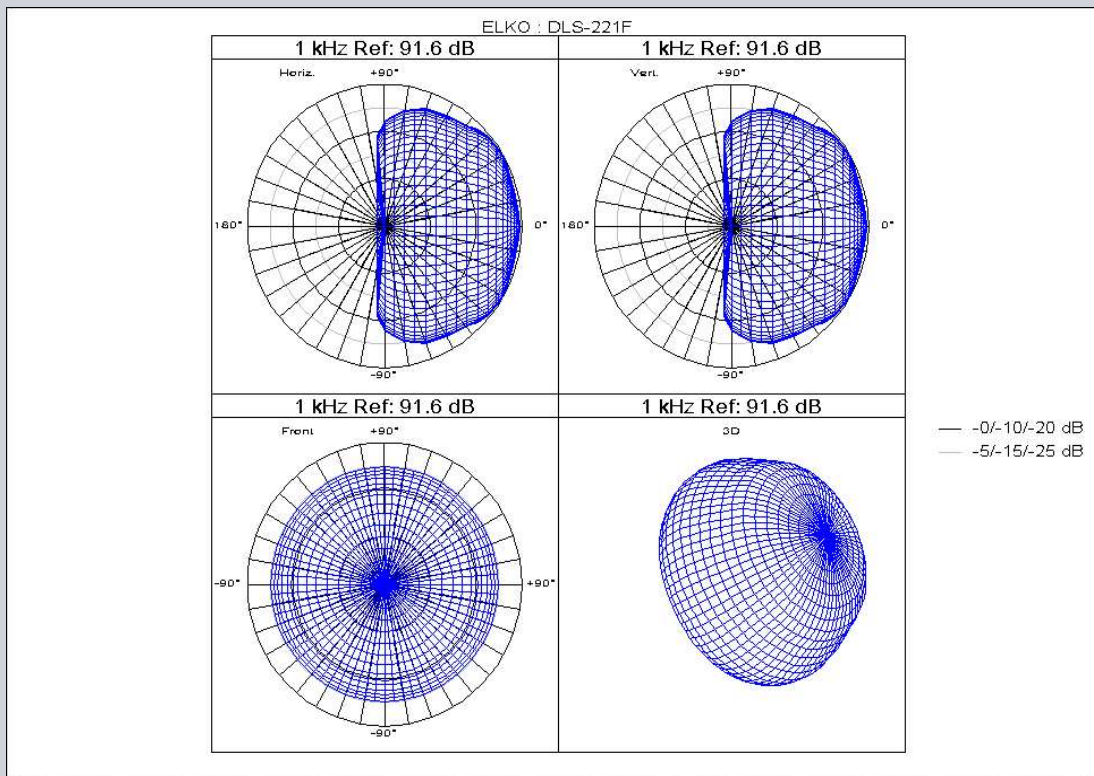
Betrachten Sie den erhöhten direkten Schalldruck L_d wogegen der Nachhall L_r gleich bleibt.

Das Verhältnis L_d zu L_r oder D/R hat sich vergrößert und mit ihm die Sprachverständlichkeit. Diese Verbesserung ist aber nur in Abstrahlrichtung wirksam.

Des Weiteren hat sich die kritische Entfernung (Hallradius) um den Faktor \sqrt{Q} vergrößert. Dies kann als Indikator für größere Durchdringung des Nachhallfeldes mit Direktschall betrachtet werden.

Die Kontrolle des Direktschalls ist der Schlüssel für eine gute Beschallung!

Richtballons von Lautsprecher



Einen Raum mit direktem Schall abzudecken ist das Hauptziel, wahrscheinlich die einzige Bestimmung, eines Sound-Systems, vor allem wenn es als eine SAA-Anlage gebraucht wird. Die Wahl von Lautsprechern mit passender Anzahl, Abdeckung und entsprechendem Richtfaktor ist der Schlüssel.

Die Graphik zeigt die Richtfaktor-Eigenschaften eines einfachen Deckenlautsprechers bei einem 1 kHz Oktavband in 3D.

Die Oberfläche zeigt an, wohin der direkte Schall abgestrahlt wird.

In der Praxis werden solche Graphiken verwendet, um zu bestimmen, welche Gebiete mit genügend Direktschall abgedeckt werden.

Typischerweise benötigen gängige Audio / Beschallungs-Simulationsprogramme diese Art von Messdaten, um den Direktschallpegel berechnen zu können.

Design Kriterien für die “Verständlichkeit”



S ↑

Das gesamte Signal L_t muss genügend laut sein, um die Störgeräusche zu übertönen

Signalstärke S und Störgeräusch N stehen weder in einer Beziehung zueinander noch sind sie von einander abhängig!

N ↓

oder man reduziert die Störgeräusche / Lärm

D ↑

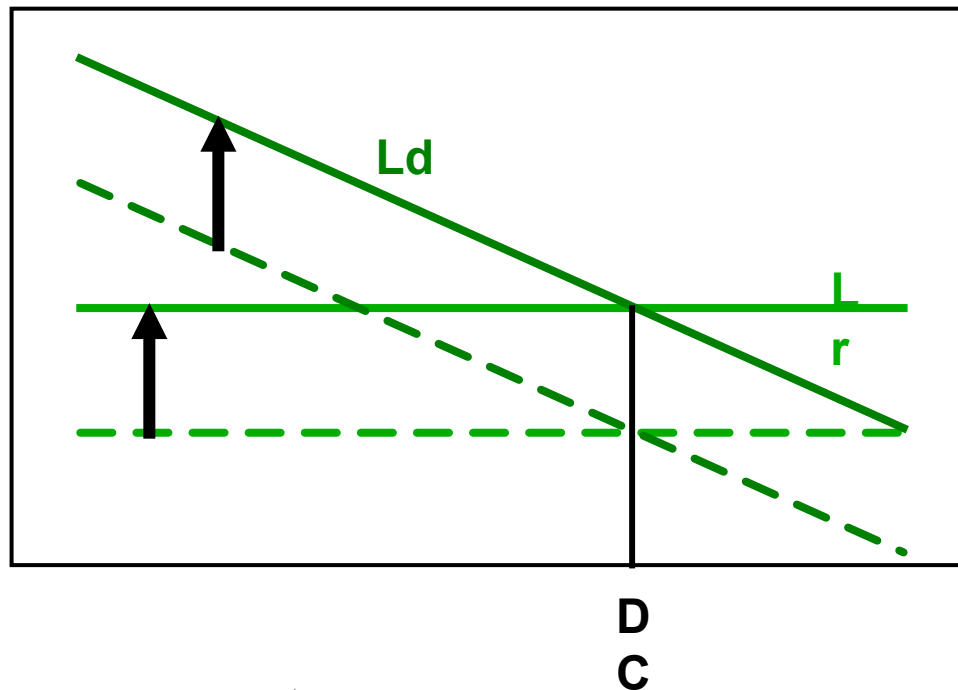
Das gesamte Signal L_t muss genügend Direktschall haben, das heißt, ein sinnvolles L_d/L_r (oder D/R) Verhältnis vorweisen.

D und R stehen in direkter Abhängigkeit zueinander. D erzeugt R !!!!

R ↓

oder das Nachhallfeld bzw. der diffuse Schall muss reduziert werden

Spiele mit den Parametern



$$AL_T \approx L_w + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{S\alpha} \right)$$

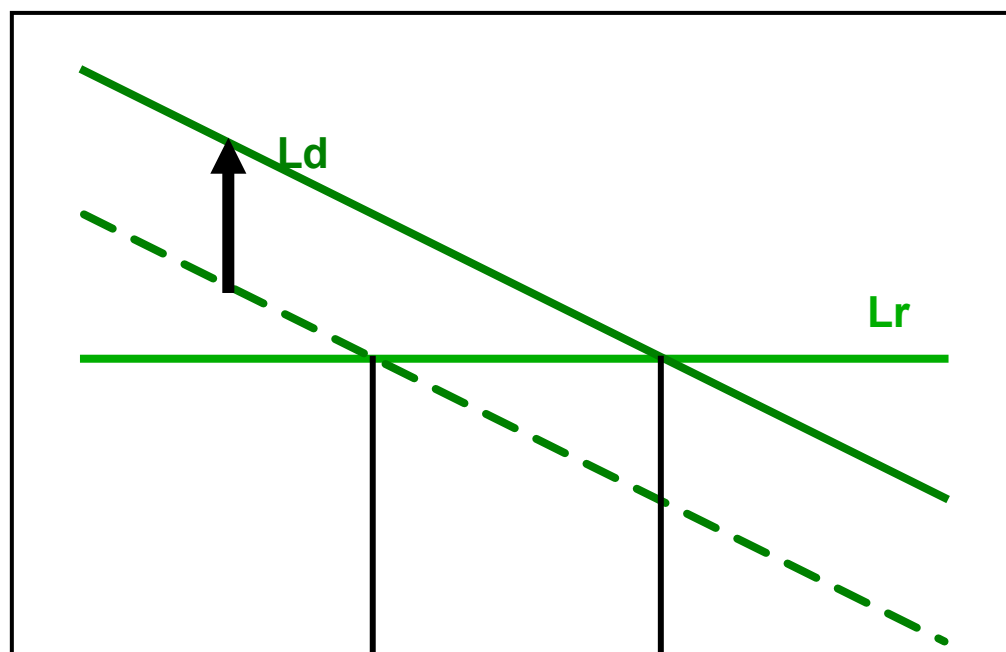
Die Graphik zeigt was passiert, wenn in einem Raum die abgegebene akustische Leistung L_w erhöht wird.

Der direkte Schall und die Nachhallenergie werden um den gleichen Betrag erhöht.

Die kritische Distanz verändert sich nicht und bei gleichbleibenden S/N Abstand dementsprechend die Verständlichkeit ebenfalls nicht.

Es wird einfach lauter → der gesamte Schallpegel wird erhöht und kann damit helfen, Hintergrundgeräusche zu übertönen.

Spielen mit den Parametern II



Dc1

Dc2

$$\Delta L_T = L_W + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{S\alpha} \right)$$

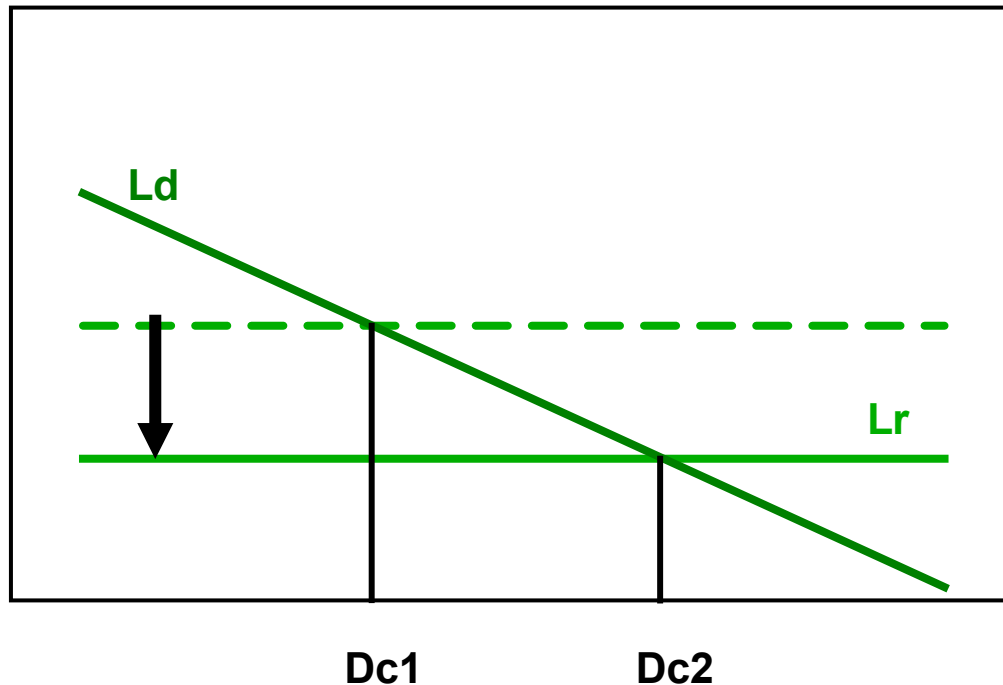
Die Graphik zeigt was geschieht, wenn der Anteil an direktem Schall bei gleichbleibender akustischen Energie, durch eine entsprechende Lautsprecherwahl (Richtfaktor) erhöht wird.

Der direkte Schallpegel L_d wird erhöht und der Nachhall L_r bleibt konstant.

Die kritische Distanz hat sich erhöht und die Verständlichkeit wird besser.

Von der Quelle bis zum kritischen Abstand wird der gesamte Schall erhöht, d.h. es wird lauter.

Spielen mit den Parametern III



$$\Delta L T = L W + 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{S\alpha} \right)$$

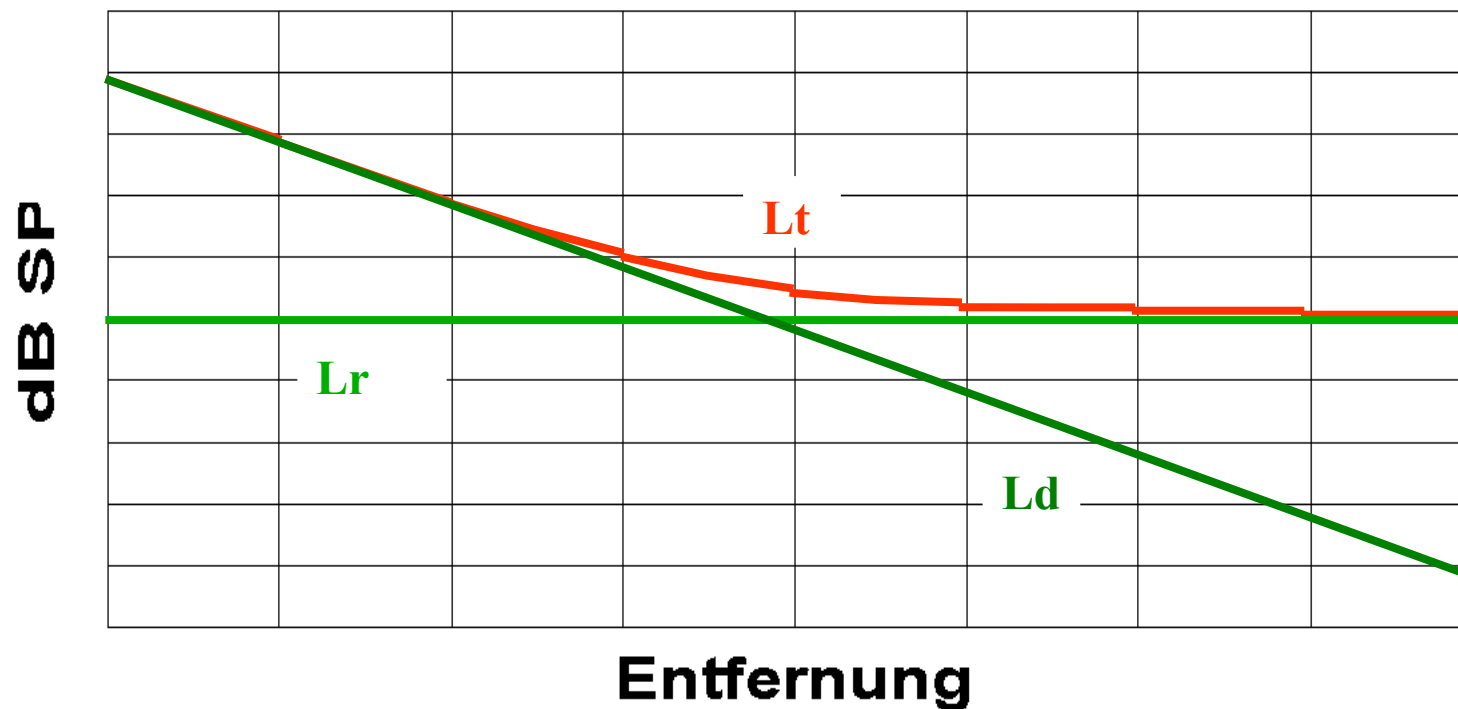
Diese Graphik zeigt, was geschieht, wenn das Nachhallfeld durch eine Veränderung der akustischen Eigenschaften des Raumes reduziert wird.

Der Nachhallpegel wird reduziert und der direkte Schallpegel bleibt gleich.

Der kritische Abstand wird erhöht und die Verständlichkeit wird verbessert.

Der gesamte Schallpegel nimmt in grösserem Abstand zur Quelle ab ($>D_c$) → es wird leiser.

Die Hopkins-Stryker-Gleichung: Bezeichnet das gesamte Schallfeld und seine Hauptkomponenten

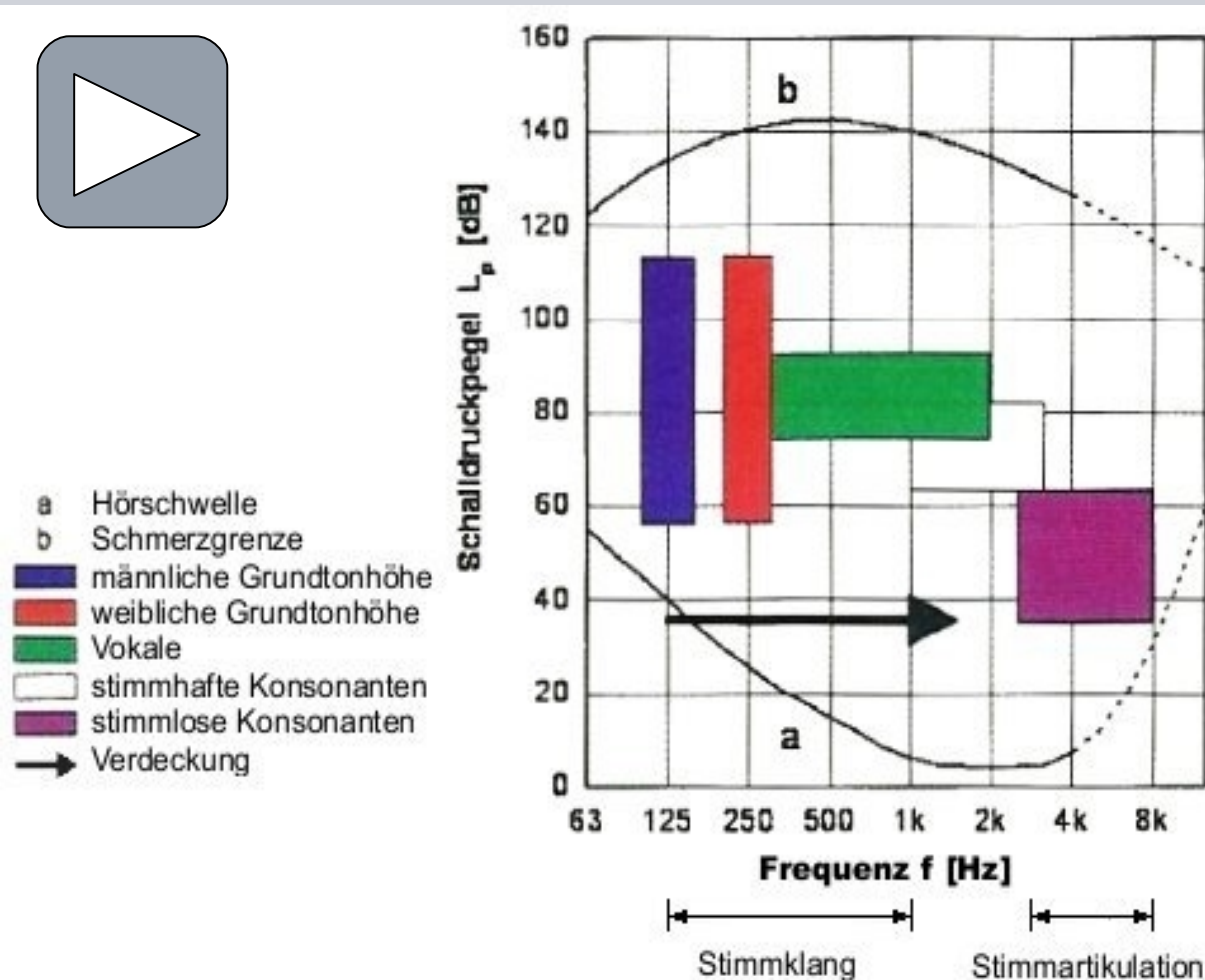


$$\Delta LD = 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2} \quad \Delta LT = 10 \log \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{S\alpha} \right) \quad \Delta LR = 10 \log \frac{4}{S\alpha}$$

Sprachverständlichkeit



Verständlichkeit, Hörfeld, Konsonanten



Die Graphik zeigt wo die Hauptkomponenten der Sprache in Bezug auf Frequenz und Pegel angesiedelt sind.

Konsonanten für die Verständlichkeit am wichtigsten, Vokale nicht
Konsonanten haben einen tieferen Pegel als Vokale

Tiefe Frequenzen maskieren die Höheren

Der 2 kHz Oktavband ist für die Verständlichkeit am wichtigsten

„Old school“: Logatome um die Verständlichkeit zu testen, Beispiel:



Logatome zur Untersuchung der Sprachverständlichkeit

kosch	sen	sez	talf	spom	wob	prab	nul
las	schar	blem	telf	mig	mig	schusch	zasch
ban	nel	log	bin	notsch	buk	gluk	slub
pruk	spom	schuk	bler	plun	rilf	kok	ras
dotsch	wem	bitsch	schest	rift	krog	schrors	frasch
tim	tid	mis	net	bilf	dur	kluf	jaft
sup	bir	frob	tos	dog	tir	flin	schrup
plilf	prast	sip	pirs	wet	peng	plutsch	nong
brek	zid	laz	dab	mom	spid	schug	gef
lors	bib	nel	prir	griz	dut	psar	sliz
duf	tist	lob	buf	krulf	strag	strest	jub
frelf	dulf	plot	lap	blost	krolf	druk	suft
kalf	schruft	wusch	mul	kluz	wang	sor	nak
schib	brus	goft	tik	spatsch	pses	kirs	gran
blur	spus	glosch	sluk	gles	mez	git	tof
rik	sluk	psem	kluk	schun	schlirs	kulf	stes
krom	dag	dig	far	rag	psat	lan	trisch
dug	schul	mars	ratsch	schalf	suf	schom	hosch
fralf	rong	stron	breft	wid	dresch	psek	beft
jag	stalf	pled	tob	blotsch	plet	sasch	trilf
klatsch	fors	schilf	helf	dram	nef	flik	schut
brug	def	ditsch	flit	tar	dag	sir	tetsch
tod	nisch	self	natsch	slatsch	schles	drers	rip
grirs	drom	gur	dulf	prem	zwul	schlik	lub
wum	wot	scher	schers	jars	bes	len	drul
schleg	jung	som	gug	rin	moz	prik	kaf
drung	brob	blun	pasch	zos	slip	kaft	mal
mip	fag	kreg	schaf	kon	rong	durs	
flen	frulf	wad	tet	bub	brulf	bil	
traz	rim	nab	zwil	klon	haft	lar	
zaf	bloz	zwum	bat	lim	fral	frers	

Abschätzung nach Peutz, Davis & Davis,

AI_{cons} : «Articulation loss of consonants»



$$\%AL_{\text{CONS}} = \frac{200 \cdot D_x^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot Q}$$

Nachhallzeit RT_{60}

Abstand Quelle zum Hörer

Anzahl der Quellen (D/R Leistungsverhältnis)

Volumen

Richtfaktor

% ALcons werden nicht größer als ca. 10 x RT_{60} @ $D_x > 3D_c$

Beispiel:
Für ein Nachhallzeit $RT_{60} = 1,0 \text{ s}$
→ Alcons werden 10% nicht übersteigen

100 %	80 %	60 %	33 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %	ALcons
unverständlich			schlecht		verständlich		gut	exzellent			
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	STI

EN 60849 < 12% Alcons, > 0,50 STI

Bestimmung von Alcons nach Peutz, Davis & Davis, **Berechnung**



$$\%AL_{CONS} = \frac{200 \cdot D_x^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot Q}$$

Nachhallzeit RT_{60}
Abstand Quelle zum Hörer
Anzahl der Quellen (D/R Leistungsverhältnis)
Volumen
Richtfaktor

Berechne %ALcons für:
Volumen = 1.000m³
Distanz = 3 m
 $RT_{60} = 1,5s$
10 Lautsprecher, $Q = 5$

100 %	80 %	60 %	33 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %	ALcons
unverständlich			schlecht		verständlich		gut	exzellent			
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	STI

EN 60849 < 12% Alcons, > 0,50 STI

Alcons Abschätzung nach Peutz, Davis & Davis, Resultat: Alcons $\approx 8\%$



$$\%AL_{CONS} = \frac{200 \cdot D_x^2 \cdot RT_{60}^2 \cdot N}{V \cdot Q}$$

Abstand = 3 m

RT60 = 1,5s@2kHz

10 identische Lautsprecher,
Gleiche Leistung

Volumen = 1.000m³

Q=5

% ALcons werden ca 10 x
RT₆₀ @ Dx>3Dc nicht
übersteigen.

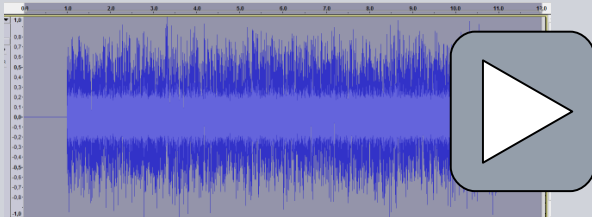
In diesem Fall: RT₆₀ = 1,5 s

→ Alcons werden 15% nicht
übersteigen

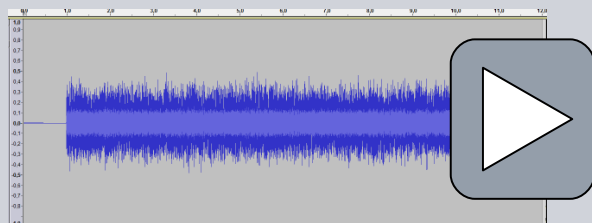
100 %	80 %	60 %	33 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %	ALcons
unverständlich			schlecht		verständlich		gut	exzellent			
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	STI

EN 60849, VDE 0833-4 < 12% Alcons, > 0,50 STI

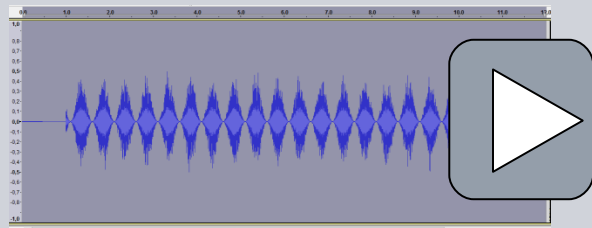
Test Signale und Modulation



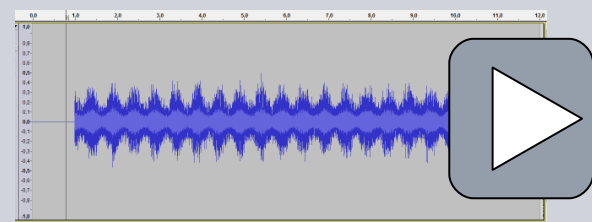
Das ist ein Rosa-Rauschen. Es enthält alle Frequenzen und ist ein Standard-Testsignal für Audiosysteme



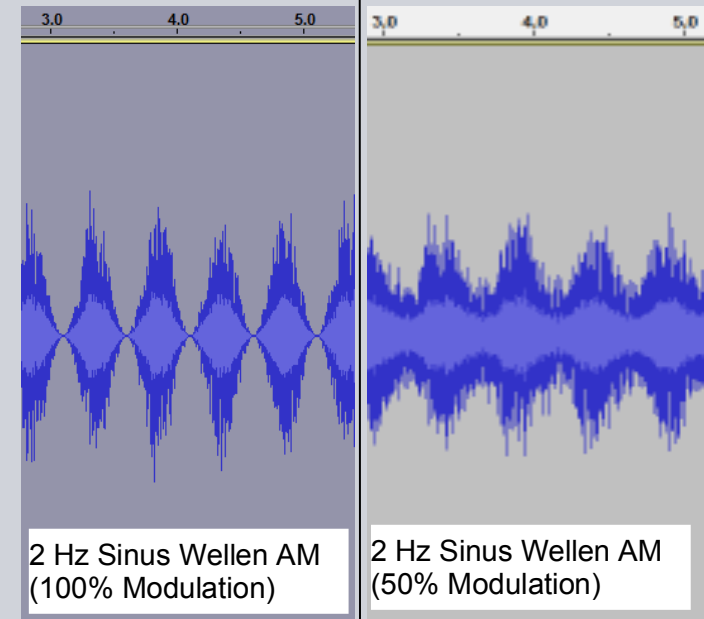
Dies ist ein gefiltertes Rosa-Rauschen, so dass nur das 2 kHz Oktavband übrigbleibt



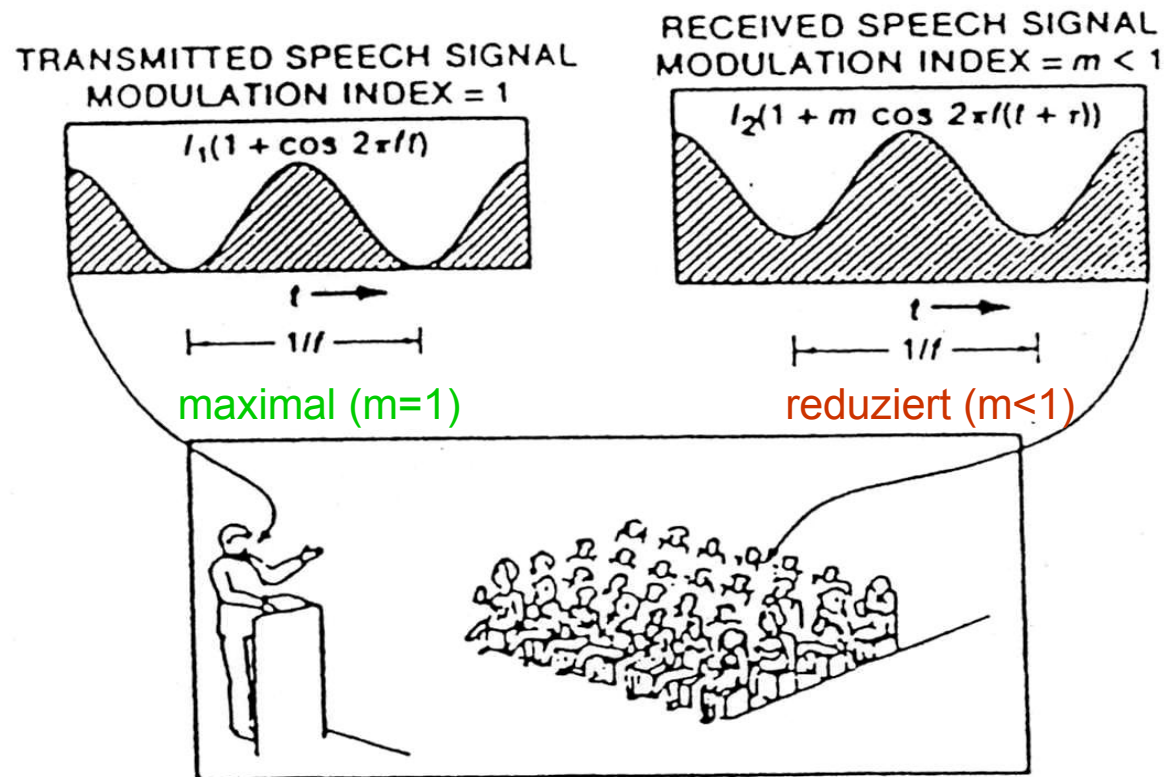
Das, mit dem 2 kHz Oktavband gefilterten, Rosaruschen wird nun mittels Amplituden-Modulation (AM) mit einer 2 Hz Sinus Welle moduliert



Das gleiche Signal wie oben aber mit einer um 50% reduzierten Amplitude.



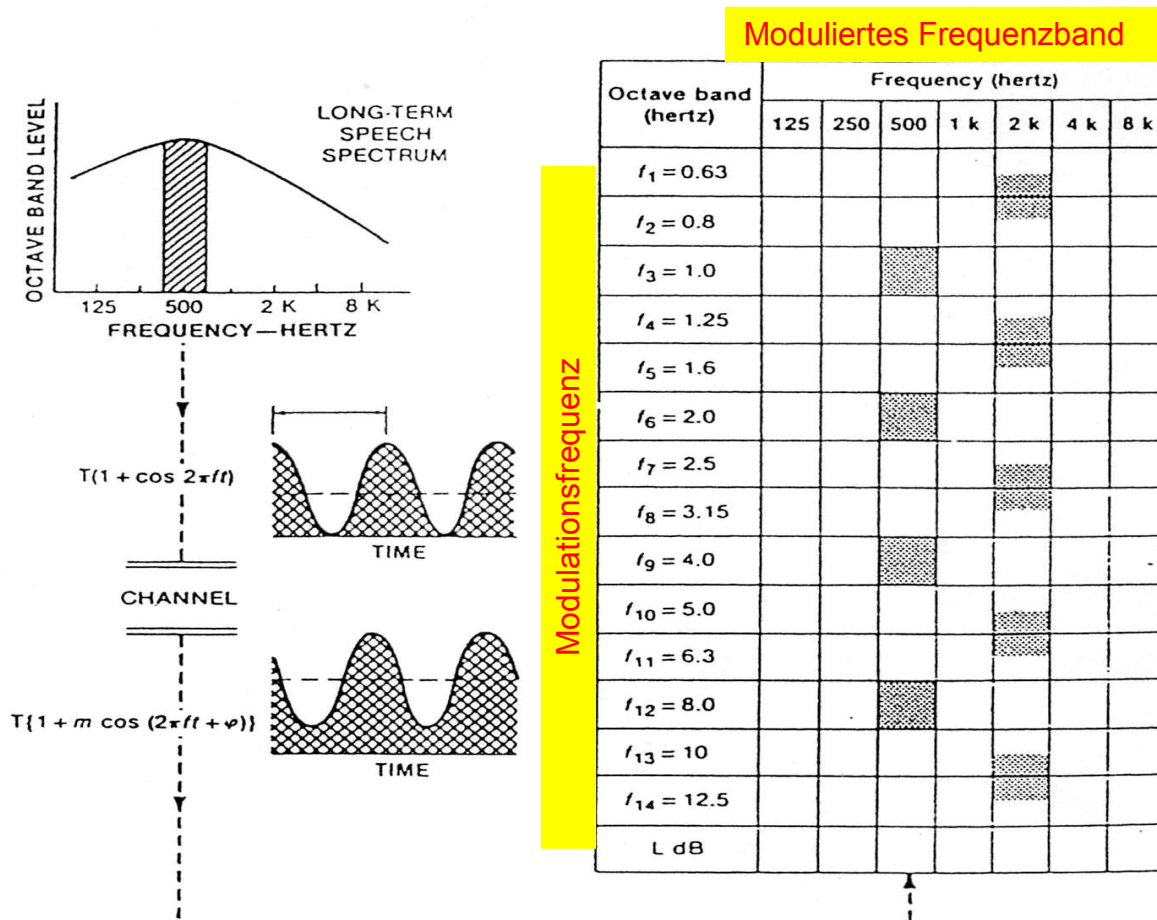
Der Modulationsindex: Grundlagen zum “speech transmission index” STI



Sprache kann als eine Anzahl von Frequenzbändern betrachtet werden, die mittels Amplitudenmodulation mit mehreren Frequenzen moduliert werden.

Ein Testsignal beinhaltet alle relevanten Frequenzbänder und alle Modulationsfrequenzen mit einer 100% Modulation. Dieses Signal wird durch das System geschickt, ausgestrahlt, durch ein Mikrophon aufgenommen und danach analysiert. Die Reduktion der Modulation bedingt durch Noise und Nachhall wird gemessen.

Speech-Transmission-Index (STI), RASTI und der Modulation Index



Die Tabelle zeigt auf der einen Seite alle Modulationsfrequenzen und auf der anderen Achse alle modulierten Frequenzbänder, die bei der STI-Messmethode gebraucht werden.

Der Modulationsindex der Frequenzbänder ist nicht einfach der Durchschnitt, sondern wird zur STI Berechnung gewichtet

Der RASTI ist ein Derivat des STI, dabei werden nur die grauen Felder berücksichtigt

Speech-Transmission-Index (STI), RASTI und „Modulationsindex“



RAPID SPEECH TRANSMISSION INDEX - MTF Matrix			SPEECH TRANSMISSION INDEX - MTF Matrix							
Band	500 Hz	2000 Hz	Band	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0.71		0.8172	0.63	0.9007	0.8653	0.8738	0.9201	0.9100	0.9352	0.9580
1.00	0.7429		0.80	0.7829	0.7301	0.7429	0.8356	0.8172	0.8570	0.9018
1.41		0.6495	1.00	0.7829	0.7301	0.7429	0.8356	0.8172	0.8570	0.9018
2.00	0.4419		1.25	0.6539	0.5998	0.6161	0.7524	0.7274	0.7725	0.8319
2.80		0.4538	1.60	0.5317	0.4820	0.5142	0.6803	0.6495	0.6934	0.7575
4.00	0.3358		2.00	0.4226	0.3850	0.4419	0.6206	0.5848	0.6231	0.6838
5.60		0.2042	2.50	0.2415	0.2660	0.3593	0.5250	0.4895	0.5104	0.5504
8.00	0.2706		3.15	0.1129	0.2100	0.3429	0.4518	0.4227	0.4334	0.4462
11.20		0.1023	4.00	0.1470	0.1912	0.3358	0.4003	0.3613	0.3878	0.3786
Octave STI	0.4694	0.4536	5.00	0.2793	0.1295	0.2886	0.3417	0.2591	0.3493	0.3362
RASTI = 0.4606 Rating: FAIR			6.30	0.2773	0.2061	0.3026	0.2751	0.1728	0.3379	0.3053
(%ALcons = 14.0537)			8.00	0.1313	0.2366	0.2706	0.1983	0.1175	0.3174	0.2478
			10.00	0.3240	0.3525	0.2654	0.1553	0.1110	0.2709	0.2241
			12.50	0.2232	0.1503	0.1896	0.1538	0.0997	0.2544	0.2383
			OctTI	0.4429	0.4293	0.4715	0.5118	0.4732	0.5412	0.5573
			STI = 0.4983 (male), 0.5027 (female) Rating: FAIR (FAIR)							
			(%ALcons= 11.9260)							

Die Tabelle zeigt die Modulationsfrequenzen und die modulierten Frequenzbänder für RASTI und STI

Sprachverständlichkeitsindex “STI” nach Houtgast & Steeneken



$$m(F, S, N) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(2\pi F \frac{T}{13,8} \right)^2}} \cdot \frac{1}{1 + 10^{-\frac{S}{N} \frac{1}{10}}}$$

D/R Faktor S/N Faktor

Diese Gleichung zeigt die Theorie, die hinter dem Modulationsreduktionskonzeptes steht.

m = Modulationsindex
 F = Modulationsfrequenz
 T = „Abklingzeit“ des ganzen Systems
 S = Signal Pegel
 N = Hintergrundgeräusch Pegel

RASTI – Rapid Speech Transmission Index

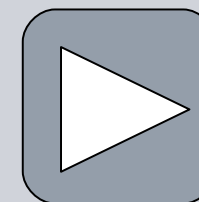
100 %	80 %	60 %	33 %	20 %	11 %	7 %	4 %	2 %	1 %	0 %	ALcons
unverständlich			schlecht		verständlich		gut	exzellent			STI
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	

EN 60849: $\geq 0,50_{STI}$

Sprachverständlichkeit versus S/N (Signal/Noise)



Signal/Noise	STI-Reduction-Factor
15 dB	0,97
10 dB	0,91
7 dB	0,83
5 dB	0,76
0 dB	0,50



Das bedeutet, dass bei einem S/N Abstand von 10dB ein STI von 0.55 ohne Hintergrundgeräuschen geplant werden muss, damit schlussendlich ein reduzierter STI von 0.5 erreicht wird ($0,55 \times 0,91$).

Sprachalarmierung, Anforderung an ALCons, STI, STIPA, RASTI



	RASTI	%AL _{CONS}		RASTI	%AL _{CONS}
BAD	0.20	57.7	GOOD	0.60	6.6
	0.22	51.8		0.62	5.9
	0.24	46.5		0.64	5.3
	0.26	41.7		0.66	4.8
	0.28	37.4		0.68	4.3
	0.30	33.6		0.70	3.8
POOR	0.32	30.1	EXCELLENT	0.72	3.4
	0.34	27.0		0.74	3.1
	0.36	24.2		0.76	2.8
	0.38	21.8		0.78	2.5
	0.40	19.5		0.80	2.2
	0.42	17.5		0.82	2.0
FAIR	0.44	15.7		0.84	1.8
	0.46	14.1		0.86	1.6
	0.48	12.7		0.88	1.4
	0.50	11.4		0.90	1.3
	0.52	10.2		0.92	1.2
	0.54	9.1		0.94	1.0
	0.56	8.2		0.96	0.9
	0.58	7.4		0.98	0.8
				1.00	0.0

Höhere Anforderungen, wie Vorträge, Konferenzen etc.

Minimalanforderung gemäß EN50849 und VDE 0833-4 für den Brand- und Notfall:
ALCons ≤ 12%,
STI, RASTI, STIPA ≥ 0,50

$$AL_{CONS} = 170.5405 \exp(-5.419 \cdot STI)$$

$$STI = -0.1845 \ln \%AL_{CONS} + 0.9482$$

Converting RASTI measurements to %AL_{CONS}.
(Courtesy Farrel Becker)