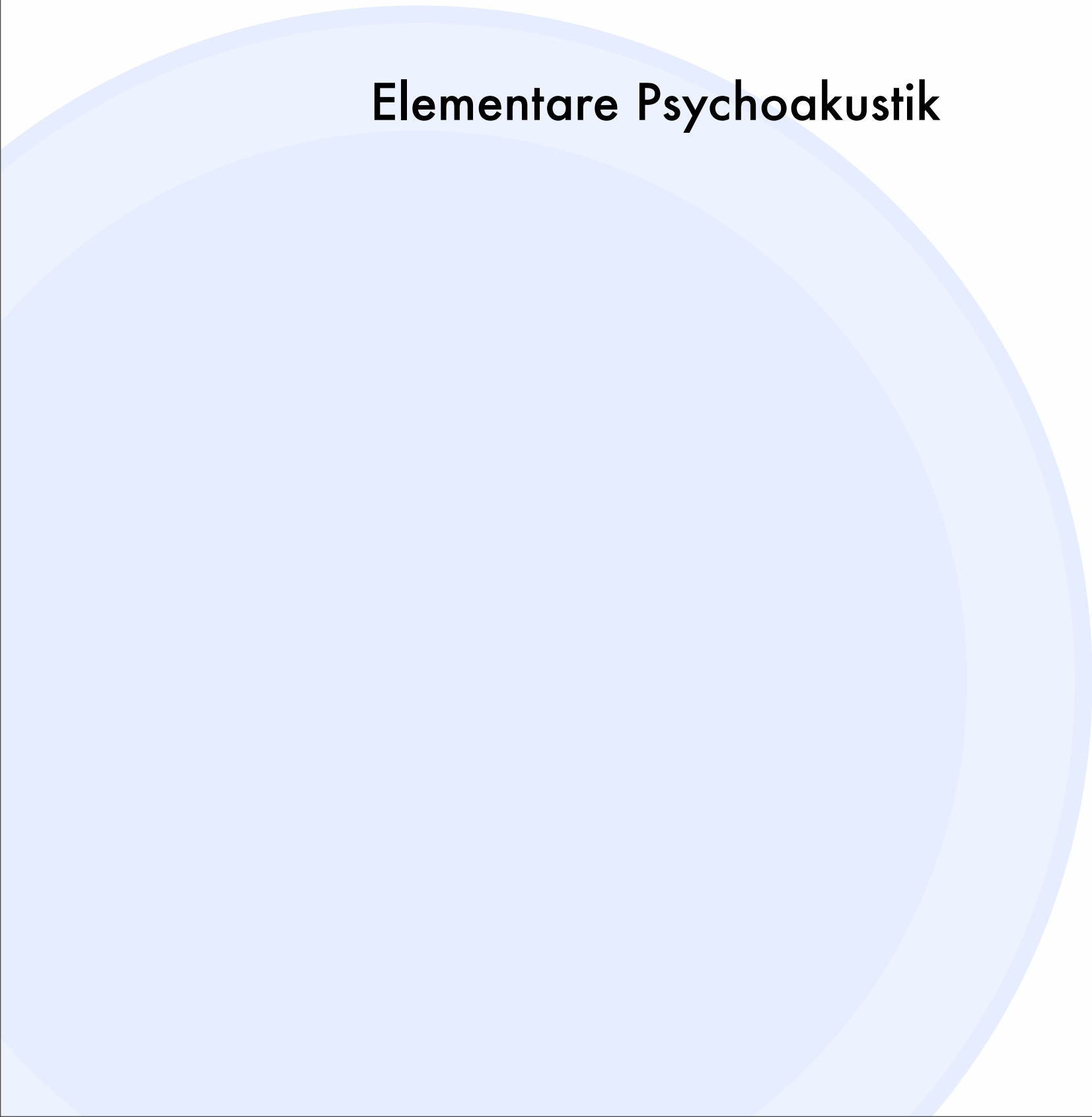




Psychoakustik

3. Stunde

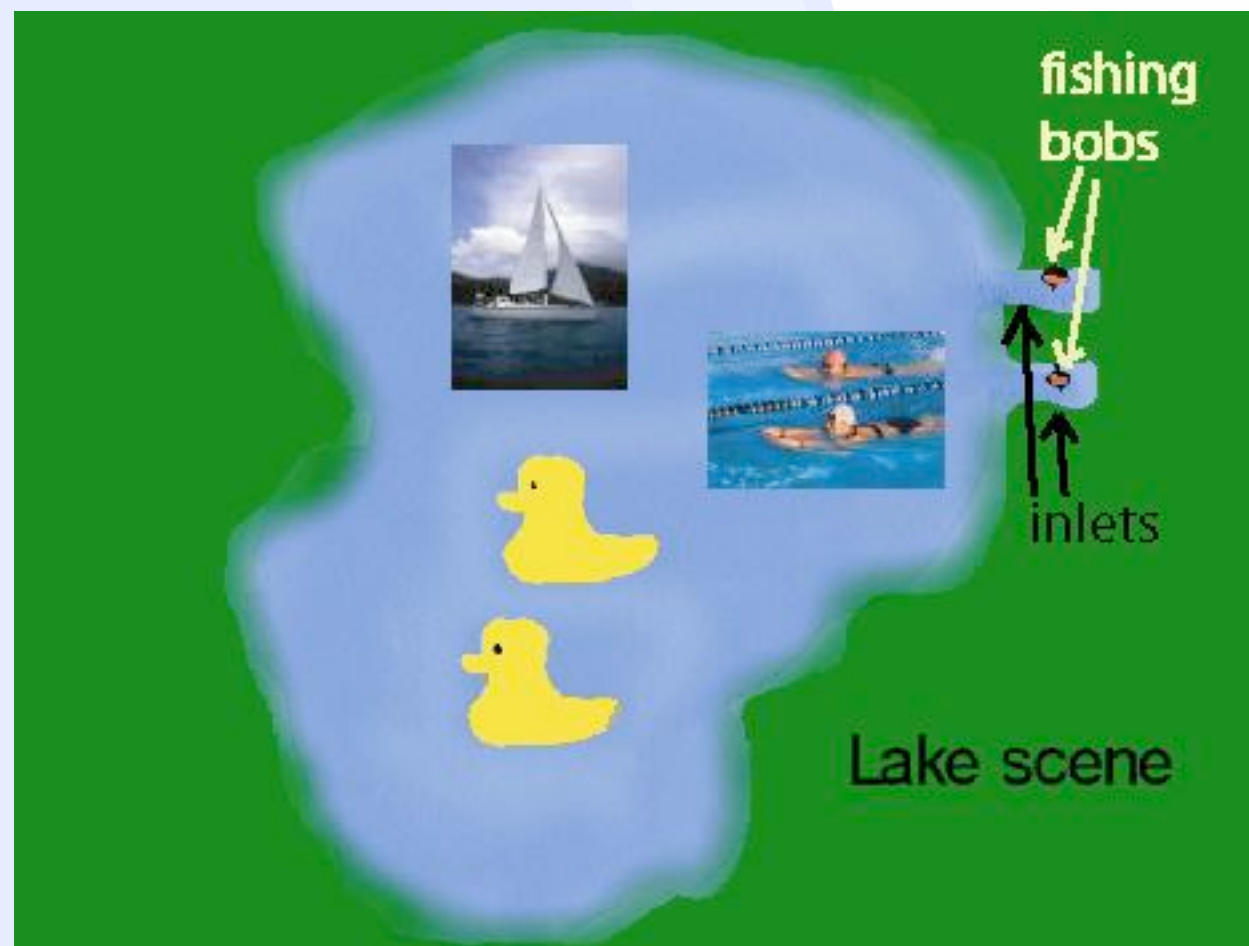
Elementare Psychoakustik





Einleitung

Gegenstand der heutigen Stunden ist die Wechselwirkung zwischen Klang und Umwelt. Wie beeinflusst unser Wissen um die Welt die Wahrnehmung von Klängen. Dabei geht es um die Differenzierung in Bottom-Up und Top-Down-Prozesse. Bei Bottom-Up-Prozessen geht es um die Extrahierung von Eigenschaften des Klanges wie etwa Frequenz oder Hall. Auch Lautstärke und Raumakustik sind Phänomene, die hauptsächlich von der Bottom-Up-Verarbeitung abhängen, aber auch von unserem Top-Down-Wissen abhängen. Wenn beide Prozesse widersprüchliche Informationen liefern, entstehen Illusionseffekte wie wir sie bei dem Haas- und Bauchrednereffekten kennen.





Elementare Psychoakustik

Fragestellungen der Elementare Psychoakustik sind:

- Wahrnehmung von Signalen (meist einfache Töne) in Isolation oder gegen einen Rauschhintergrund (signal to noise ratio).
- Trennung von Klangquellen
- Lokalisierung von Klängen im Raum
- Tonhöhenerkennung von Instrumenten



Bottom-Up vs. Top-Down

Bottom-Up :

Daten-basiert. Die Verarbeitung beginnt mit dem physikalischen Signal an der Peripherie (Innenohr) und wandert in höhere Gehirnregionen.

Top-Down: Die Verarbeitung beginnt mit mentalen Vorgängen, die uns über die Qualität eines akustischen Ereignisses informieren.



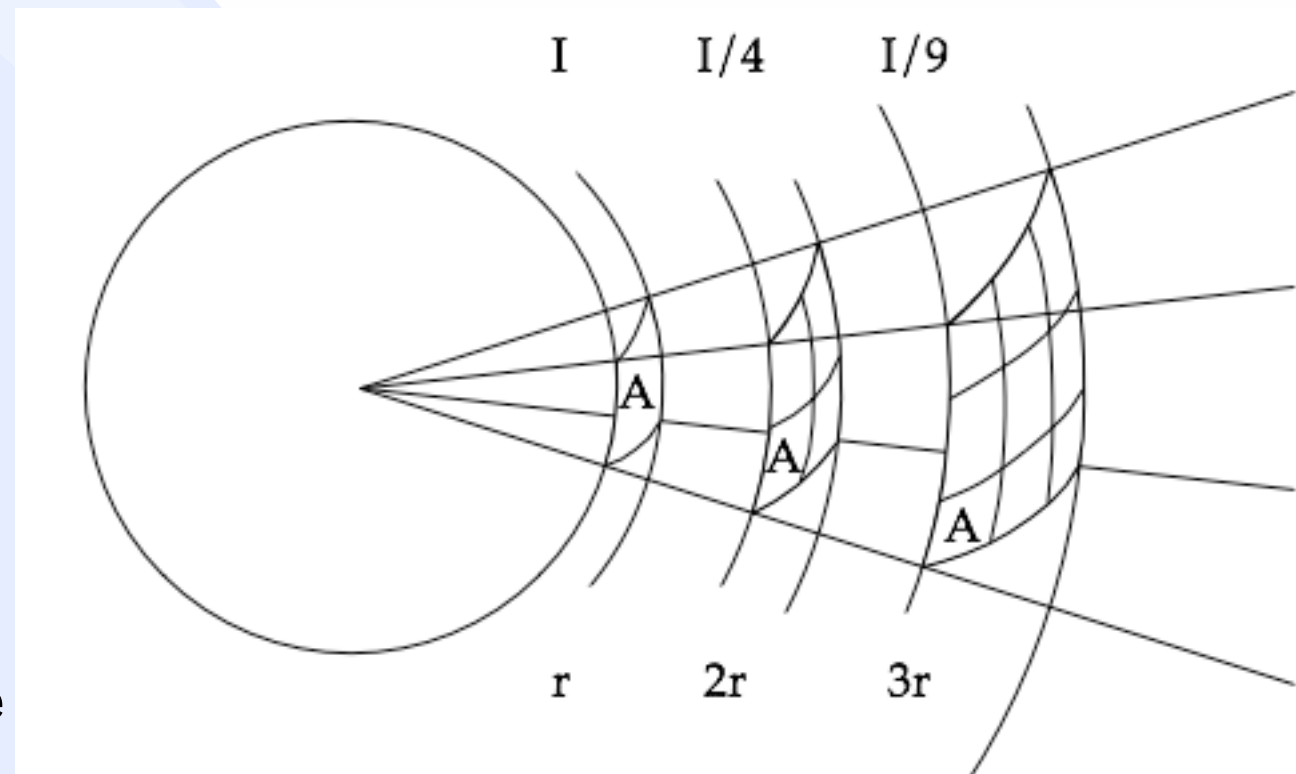
Intensität, Amplitude und Lautstärke

Die Intensität eines Klangs wird in Watt/m^2 gemessen. Sie nimmt mit dem Quadrat zum Abstand der Schallquelle ab.

$$I = \frac{P}{A}$$

I = Intensität, P = Energie, A = Fläche

Intensität ist das Quadrat der Amplitude





Das relative Verhältnis zwischen den Amplituden zweier Sinustöne wird häufig in Dezibel ausgedrückt.

Die Formel zur Berechnung von Dezibel ist: $\text{dB}(A_1/A_2) = 20 \log_{10} (A_1/A_2) = 10 \log_{10} (I_1/I_2)$.

Die **Hörschwelle** (auch **Ruhehörschwelle**) ist derjenige **Schalldruck** beziehungsweise **Schalldruckpegel**, bei dem unser **Gehör** Töne oder Geräusche als **Sensor** gerade noch wahrnimmt. Dies wird auch als untere Hörgrenze der **Hörfläche** bezeichnet. Der kleinste Schalldruck, der für das menschliche Gehör gerade noch wahrnehmbar ist, beträgt $20 \mu\text{Pa}$ bei einer Frequenz von 1 kHz. Dieser Wert wurde als Bezugswert (Referenz) für den absoluten Schalldruckpegel festgelegt. ($20 \mu\text{Pa} = 0 \text{ dB SPL}$; SPL= Sound Pressure Level)

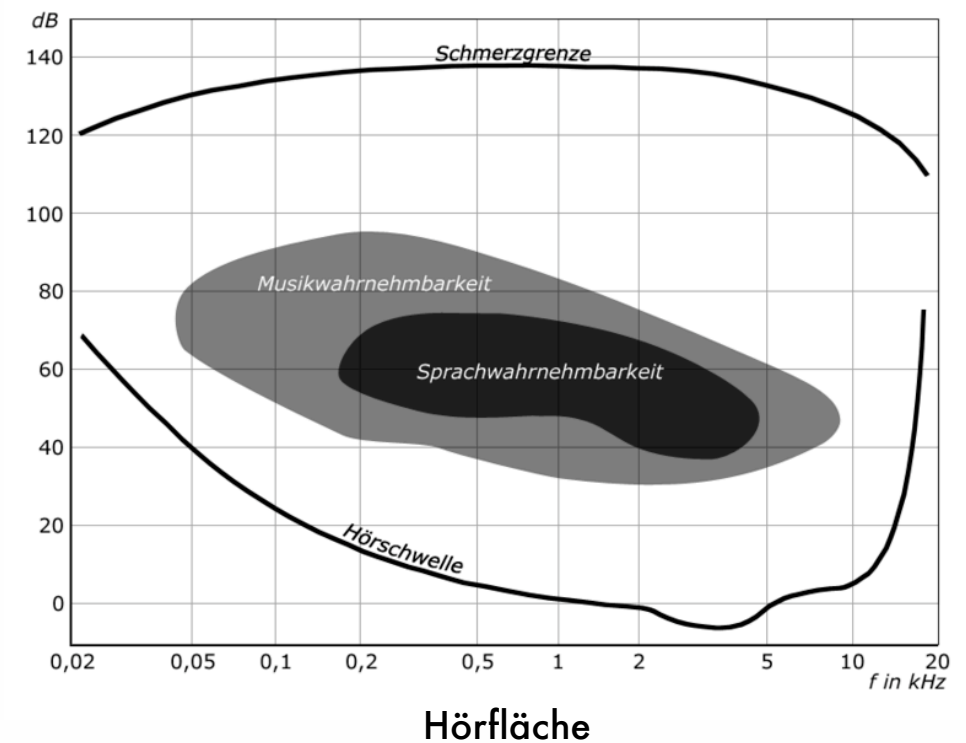
Mit **Hörgrenze** wird die Eingrenzung des menschlichen Hörbereichs bezeichnet, welcher durch die **Hörfläche** abgebildet wird. Links befinden sich die tiefsten hörbaren oder empfundenen Schwingungen mit der **Frequenz** von etwa 16 Hz und rechts die höchsten hörbaren Schwingungen mit etwa 19 kHz. Unten findet man die Hörschwelle bei der die Hörempfindung beginnt und oben die **Schmerzschwelle**, welche die Grenze kennzeichnet, ab der die **Lautstärke** nicht mehr ertragen werden kann. Alle vier Hörgrenzen sind für jeden Menschen individuell und verändern sich im Laufe des Lebens. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass die Größe der Hörfläche im Laufe des Lebens kleiner wird.

Die untere Hörschwelle ist stark frequenzabhängig. Sie liegt bei der Frequenz 2 kHz bei 0 dB, bei höheren und tieferen Frequenzen ist die Hörschwelle zu höheren Pegeln hin verschoben. So ist ein tiefer Sinus-Ton von 30 Hz erst dann hörbar, wenn der Schalldruckpegel 60 dB überschreitet. Hohe Sinus-Töne von 15 kHz können auch für Normalhörende erst ab etwa 60 dB wahrgenommen werden.

Lautstärke



Berechnung von Dezibel in Max/MSP





Lautstärkepegel für bekannte Schallereignisse

dB(SPL) Quelle (mit Abstand)

194 Theoretical limit for a sound wave at 1 atmosphere environmental pressure

180 Rocket engine at 30 m;

Krakatoa explosion at 100 miles (160 km) in air [1]

150 Jet engine at 30 m

140 Rifle being fired at 1 m

120 Threshold of pain; train horn at 10 m

110 Accelerating motorcycle at 5 m; chainsaw at 1 m

100 Jackhammer at 2 m; inside disco

90 Loud factory, heavy truck at 1 m

80 Vacuum cleaner at 1 m, curbside of busy street

70 Busy traffic at 5 m

60 Office or restaurant inside

50 Quiet restaurant inside

40 Residential area at night

30 Theatre, no talking

10 Human breathing at 3 m

0 Threshold of human hearing (with healthy ears); sound of a mosquito flying 3 m away



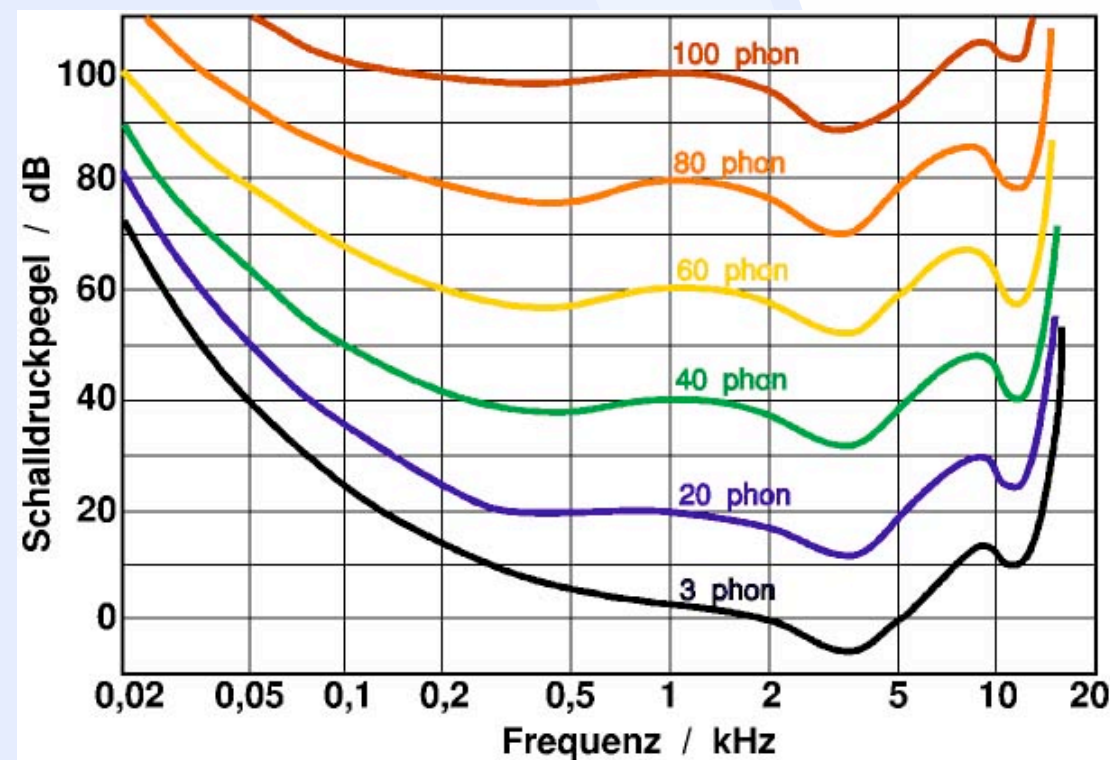
Kurven gleicher Lautstärke

nach Fletcher und Munson

Aus dem **Verlauf der Hörschwelle** geht hervor, daß das Gehör nicht für alle Frequenzen die gleichen Empfindlichkeit aufweist. Sinustöne unterschiedlicher Frequenz werden, trotz gleichen Schallpegels, unterschiedlich laut wahrgenommen.

Diese Eigenschaft des Gehörs wird mit Hilfe der Kurven gleicher Lautstärke beschrieben.

Sie geben, in Abhängigkeit der Frequenz, den Schalldruckpegel an, der die jeweils gleiche Lautheitsempfindung hervorruft wie ein Sinuston der Frequenz 1 kHz und dem zu beschreibenden Schallpegel (Maßeinheit: phon). In der nebenstehenden Abbildungen sind die Kurven gleicher Lautstärke für einige Schallpegel angegeben.

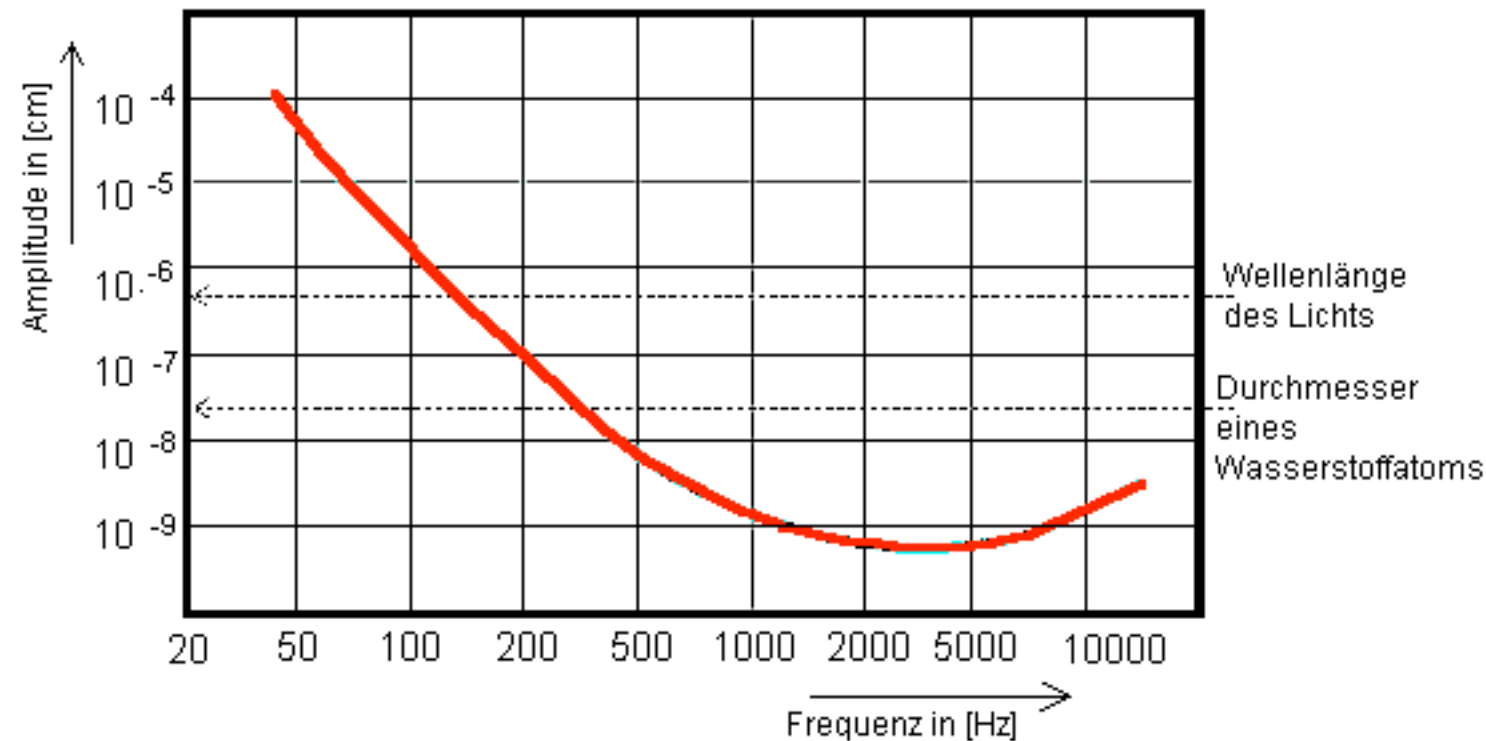


Schalldruckpegel in dB

Lautstärkepegel in phon



Mittelohr

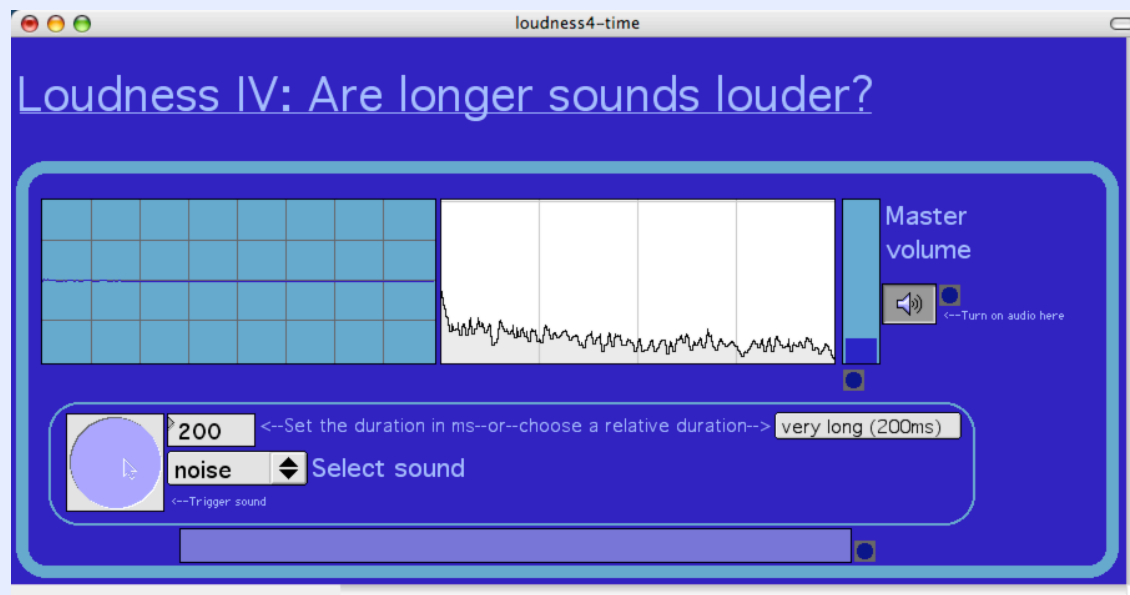
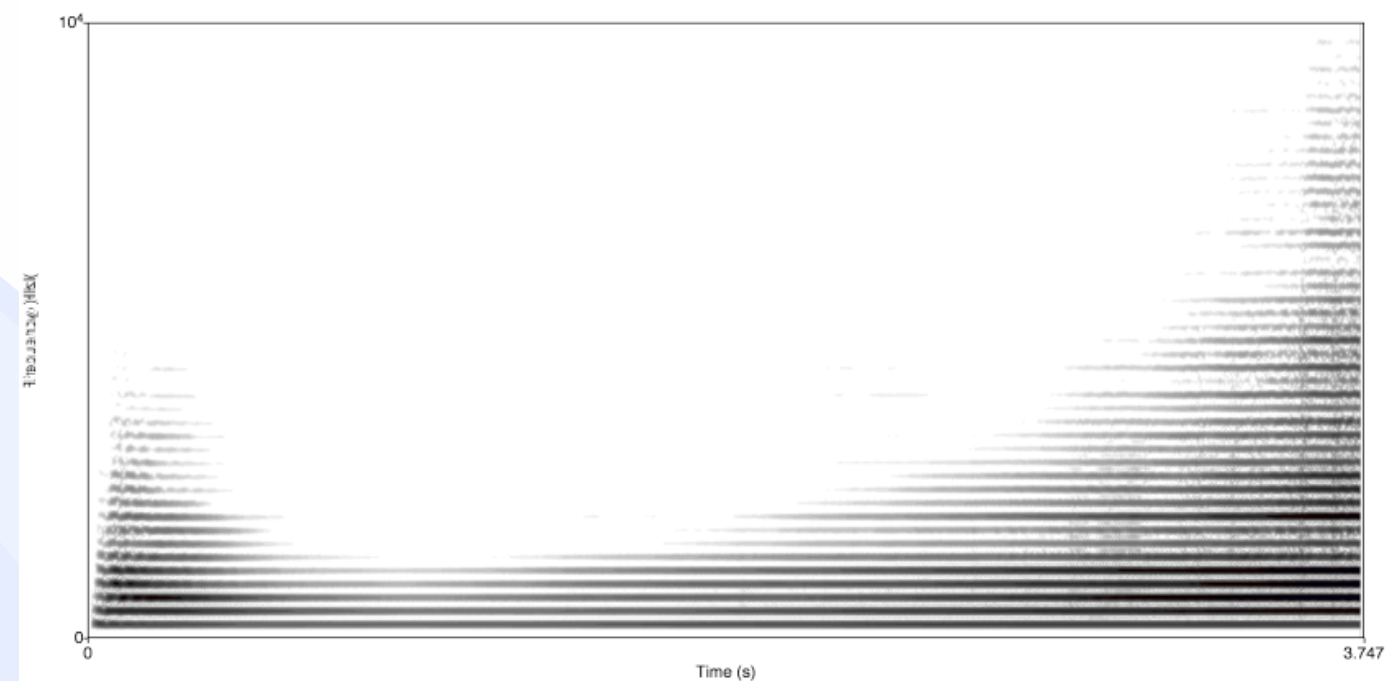
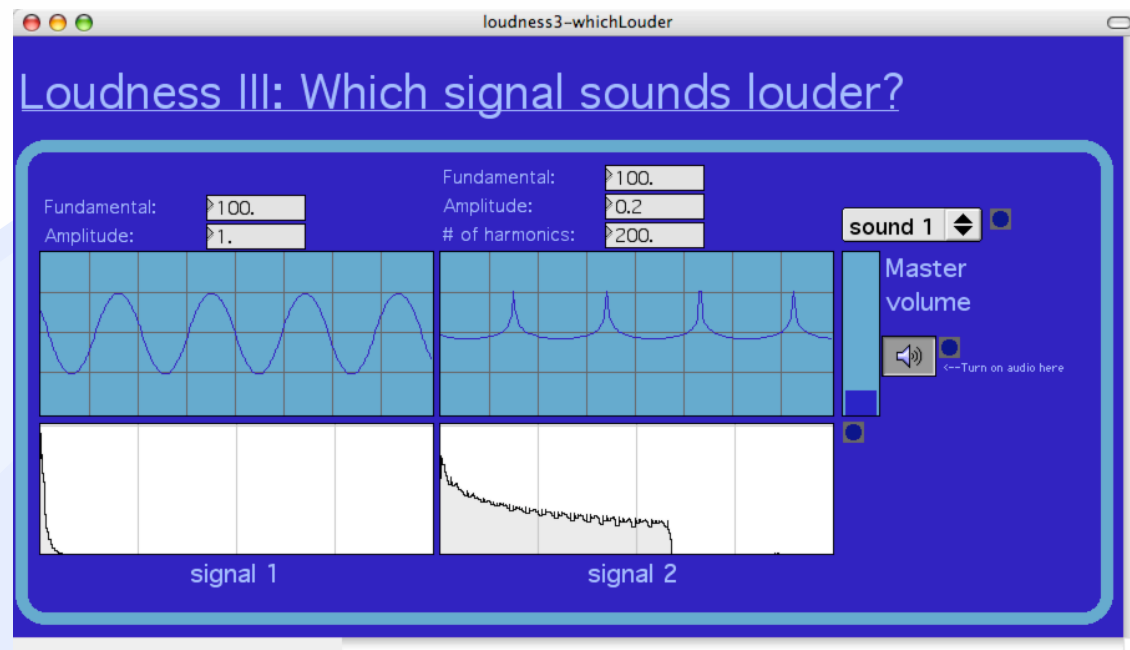


Schwingungsverlauf des Trommelfells

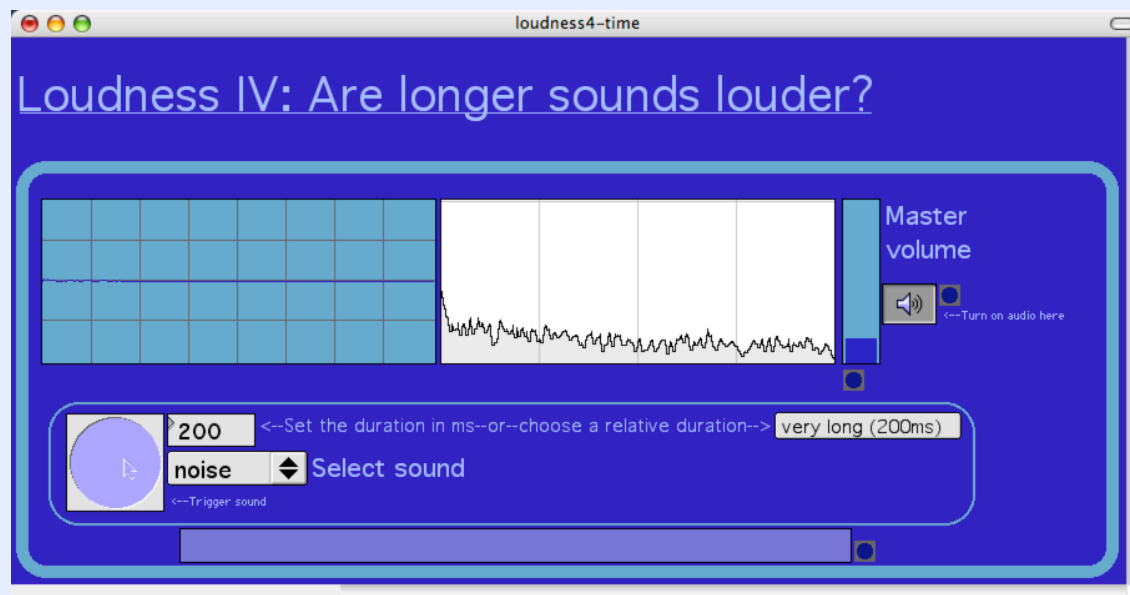
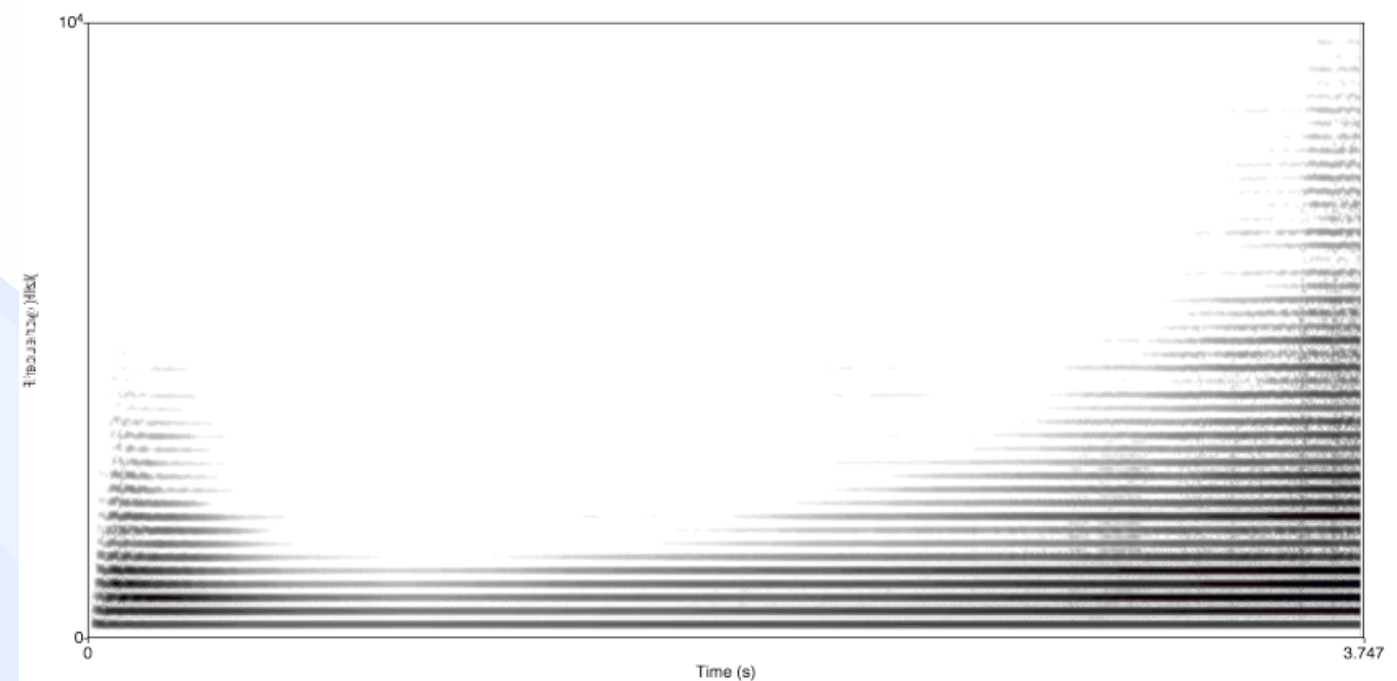
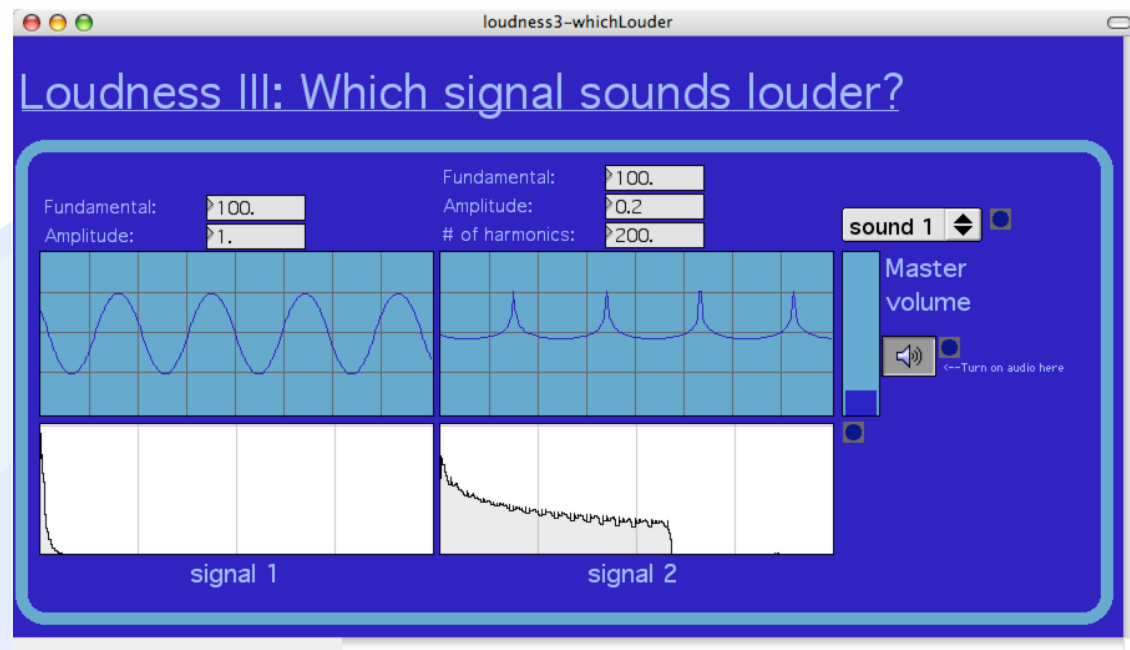
Wird das Trommelfell an der **Hörschwelle** mit einer Frequenz von 1000 Hz angeregt, so wird es in Schwingungen versetzt, deren Amplitude unterhalb des Durchmessers eines Wasserstoffatoms liegen. Diese unvorstellbar kleinen Schwingungen kann noch als Ton wahrgenommen werden, ein Beweis dafür von welcher Sensibilität das Gehör ist.

Zum Vergleich: Da die Amplitude der Schwingung bei einer Anregung an der Hörschwelle unterhalb der Wellenlänge des sichtbaren Lichts liegt, ist der Nachweis der Trommelfellschwingungen in diesem Fall selbst mit dem stärksten Lichtmikroskop nicht mehr möglich! Die Abbildung verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der Frequenz und der zugehörigen Auslenkungsamplitude des Trommelfells im Bereich der Hörschwelle.

Frequenz- und Zeitintegration bei der Wahrnehmung von Lautstärke



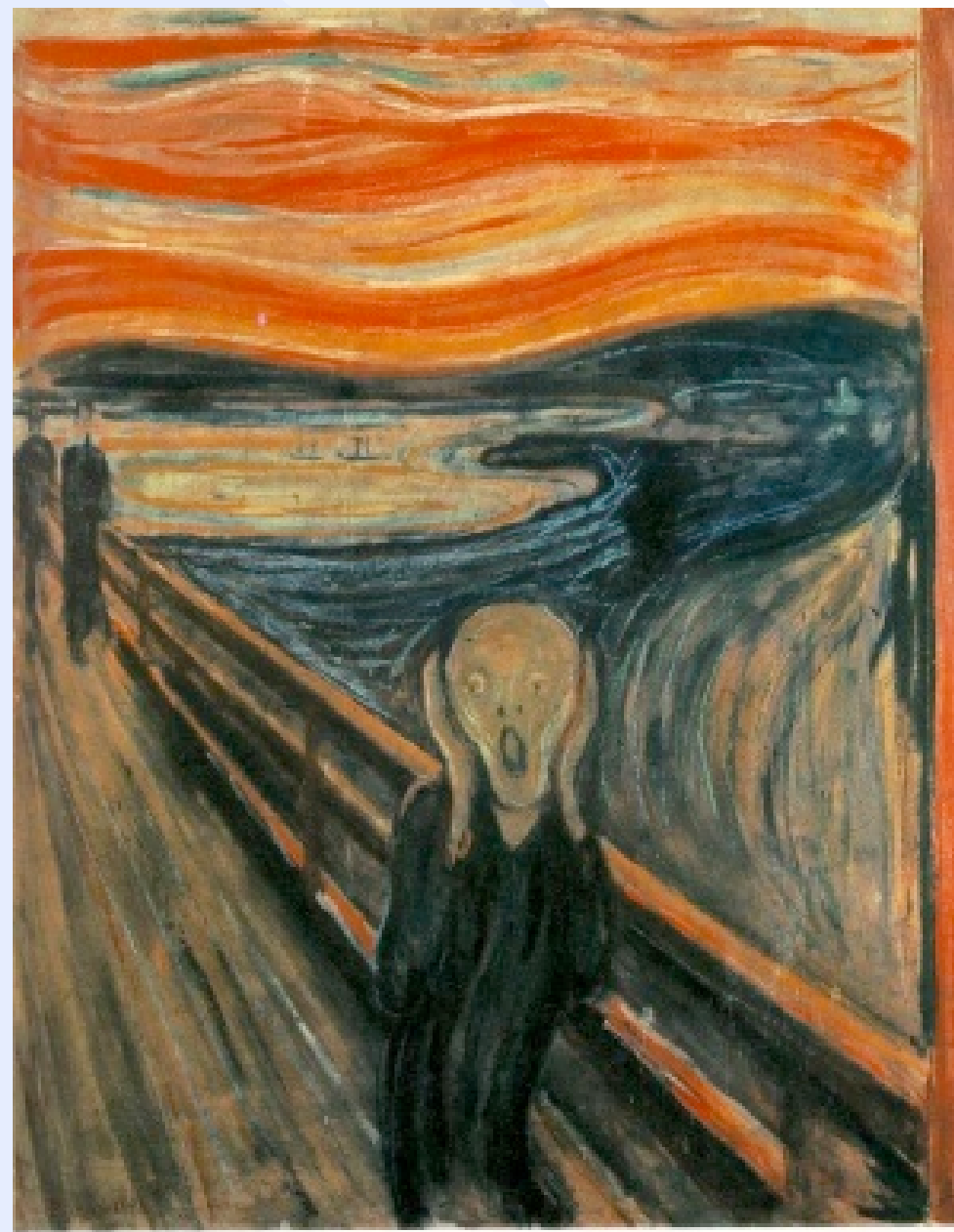
Frequenz- und Zeitintegration bei der Wahrnehmung von Lautstärke



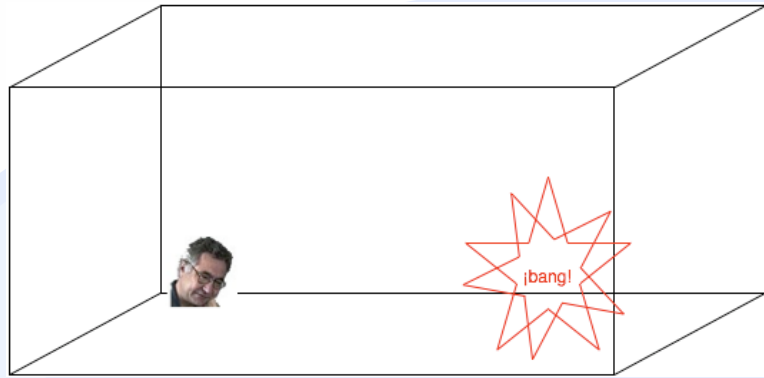
Klangfarbe beeinflusst Lautstärkewahrnehmung



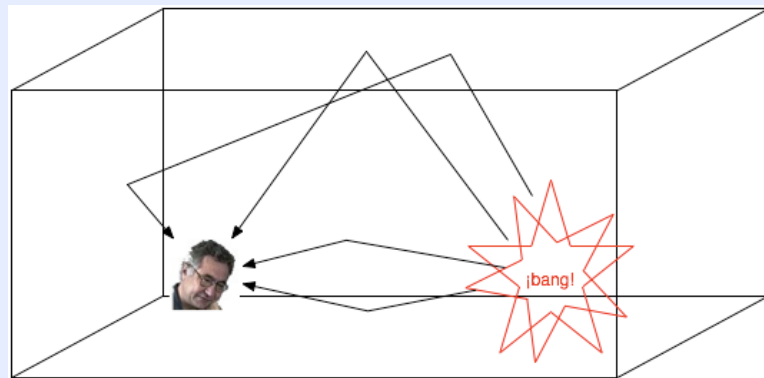
Klänge mit einem größeren Anteil höherer Obertöne werden i.A. als lauter wahrgenommen als Töne gleicher Amplitude aber mit weniger Obertönen. Daher sind die musikalischen Begriffe wie piano oder forte relativ. Beispiel: Ein Schrei wirkt auch dann noch laut, wenn seine Amplitude herabgesetzt wird.



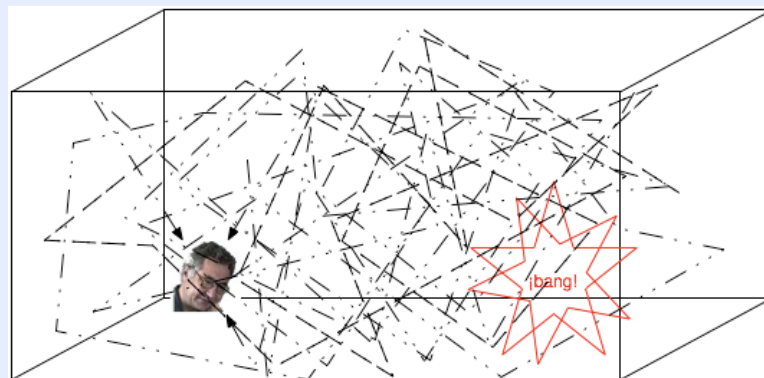
Hall



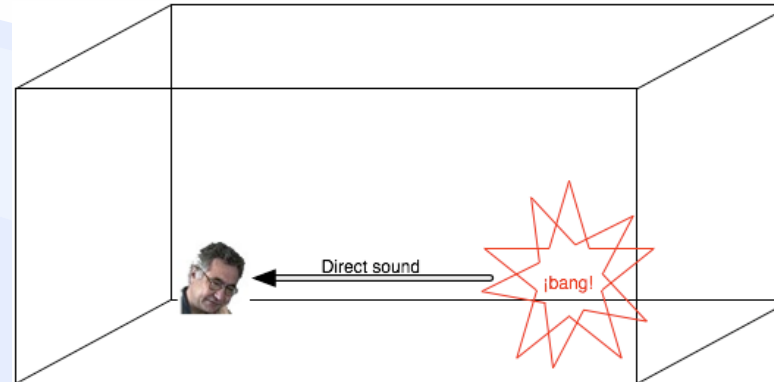
Ein Klangereignis



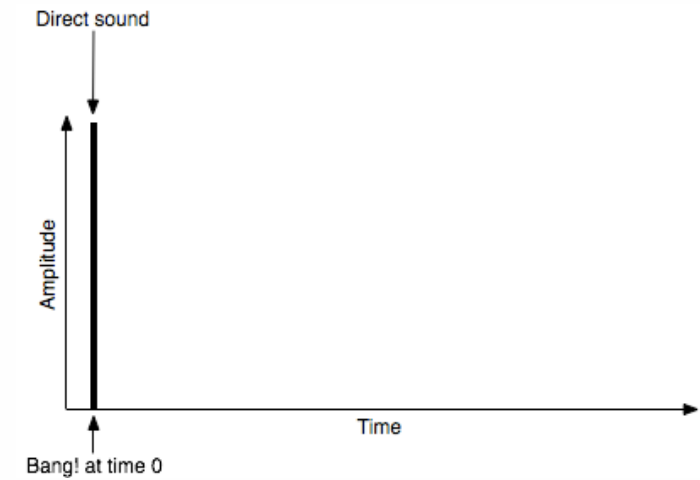
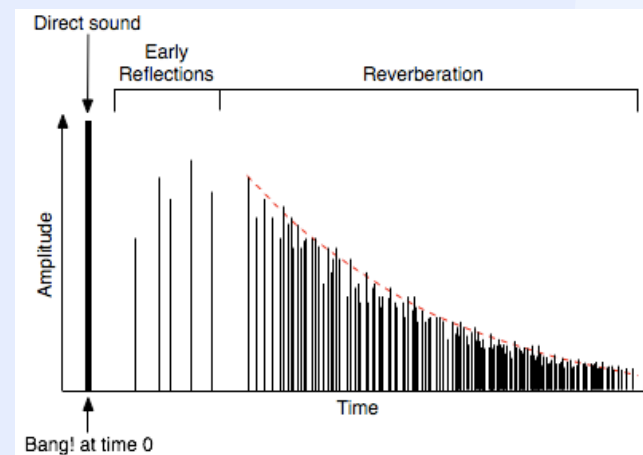
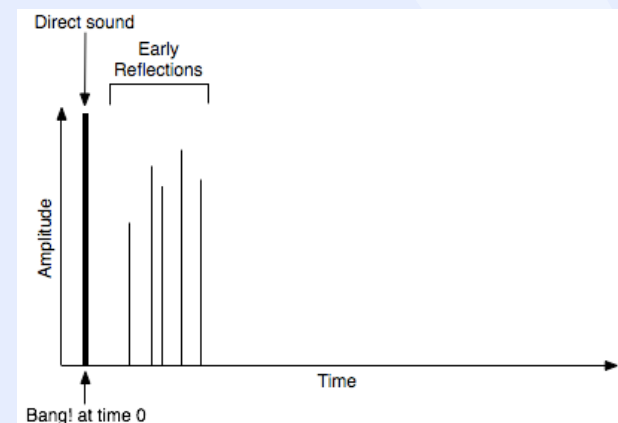
Frühe Reflexionen



Hall



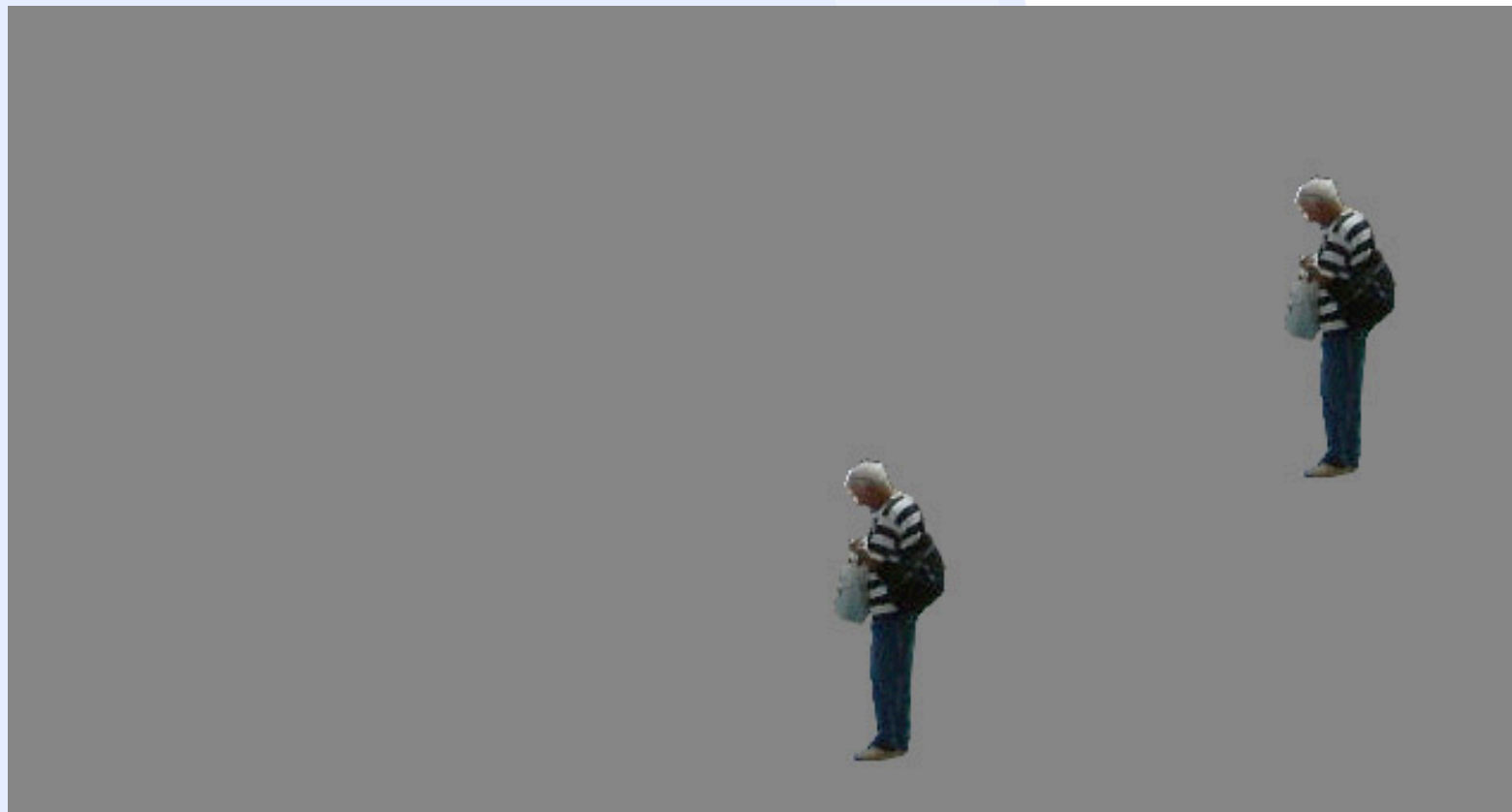
Direkter Schall



Illusionen

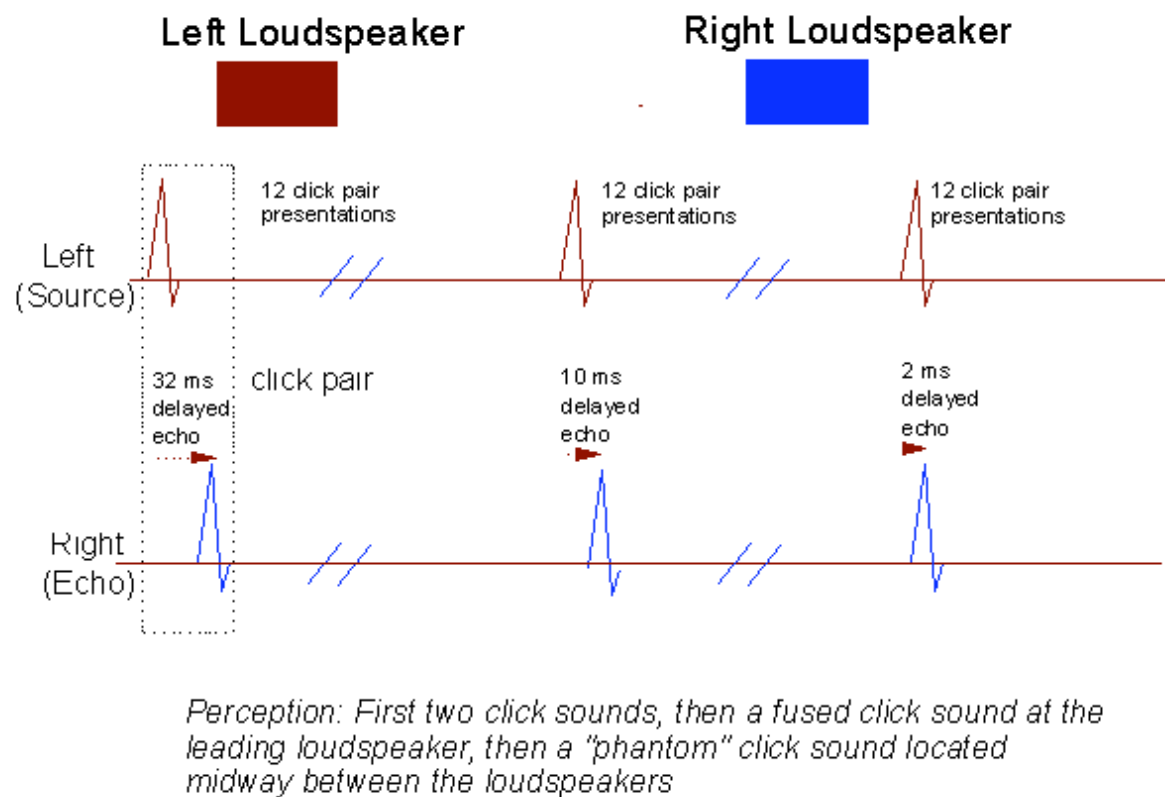


Illusionen



Haas-Effekt

auch "Gesetz der ersten Wellenfront" bzw. "Präzedenz-Effekt" genannt



Precedence Effect

aus Wikipedia:

Gesetz der ersten Wellenfront:

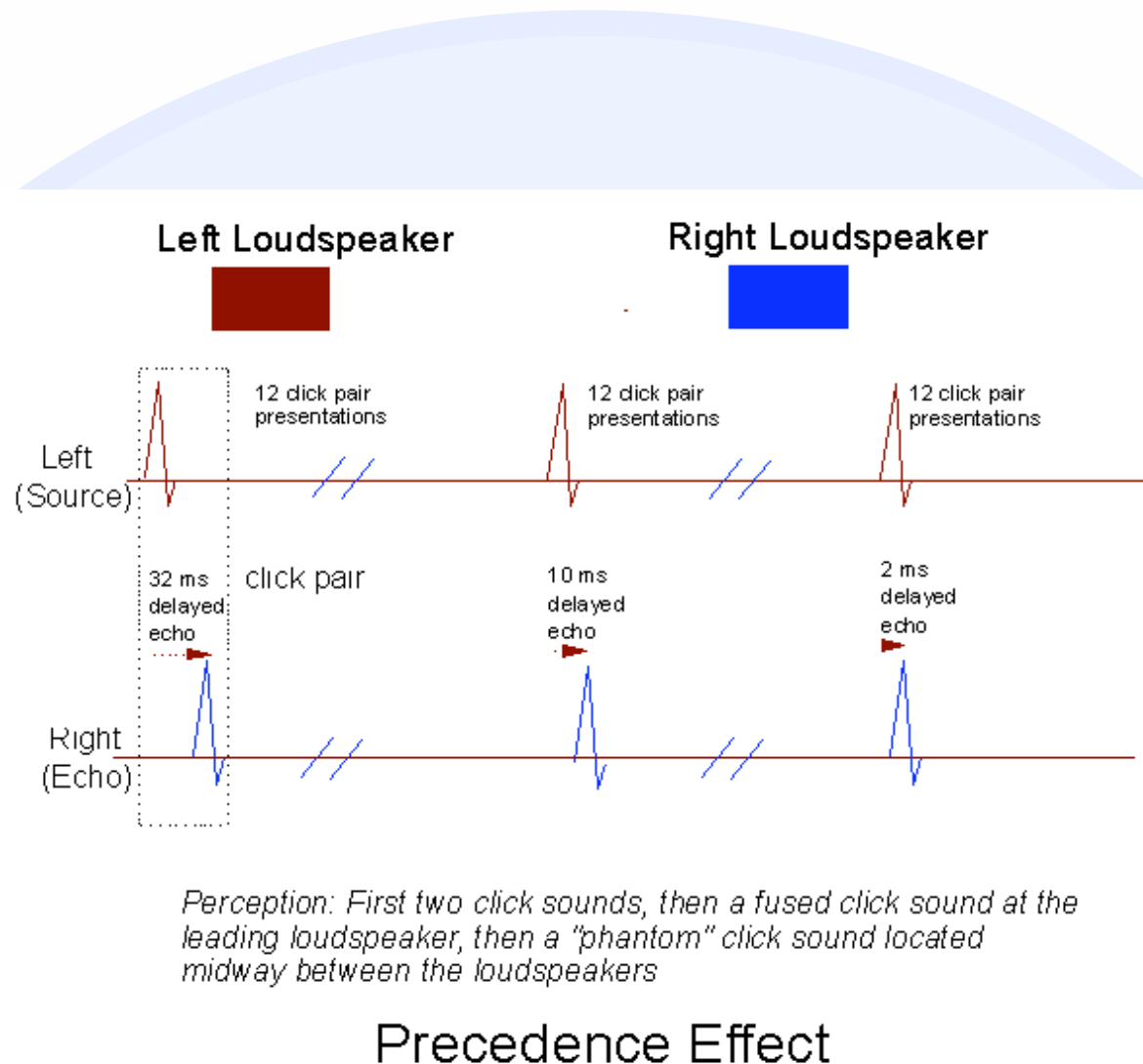
Zwei ähnliche Signale, die aus unterschiedlichen Richtungen kommen (z. B. Direktschall und ein Rückwurf), werden aus der Einfallsrichtung lokalisiert, aus der die erste Wellenfront eintrifft. Dieser Sachverhalt wird Gesetz der ersten Wellenfront bzw. Präzedenzeffekt genannt. Die Verzögerung des zweiten Signals darf allerdings eine gewisse Schwelle (Echoschwelle) nicht überschreiten, da der Hörer in einem solchen Fall zwei einzelne Signale (z. B. Direktschall und Echo) wahrnimmt. Die Echoschwelle ist abhängig von der Verzögerungszeit und dem Pegel (!) des zweiten Signals. Ist die Verzögerung des zweiten Signals kleiner 3 ms, so entsteht ein anderes Phänomen, die [Summenlokalisierung](#) bei der [Richtungslokalisierung](#).

Der Präzedenzeffekt zeigt, dass das Hörsystem den zuerst am Gehör eintreffenden Direktschall bei der Bestimmung der Richtung eines Hörereignisses (auditives Objekt) stärker berücksichtigt, als die zeitlich später eintreffenden Rückwürfe. Wenige Millisekunden nach dem Direktschall eintreffende Rückwürfe werden dabei nicht als einzelne Hörereignisse wahrgenommen. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Gewöhnung an eine reflexionsbehaftete Umgebung den Präzedenzeffekt verstärkt (Aufbau des Präzedenzeffekts), während bestimmte Änderungen des auditiven Szenarios den Präzedenzeffekt wieder zurücksetzen (Einbruch des Präzedenzeffekts). Wenn ein Hörer sich an ein auditives Szenario gewöhnt hat, werden Rückwürfe, die keine relevante Information für den Hörer bieten, unterdrückt. Neue "unerwartete" Rückwürfe werden weniger stark unterdrückt, da sie auch neue Information über die Umgebung beinhalten. Ein alternativer Erklärungsversuch besagt, dass der Aufbau des Präzedenzeffekts selektiv für die Richtungen stattfindet, aus denen Rückwürfe beim Hörer eintreffen.

Der **Haas-Effekt** besagt, dass die räumliche Lokalisation von Schallquellen wesentlich vom Zeitpunkt des Eintreffens der Signale abhängt. Dieses kann dazu benutzt werden, durch eine Verzögerung des einen Kanals ein Mono-Signal im Stereo-Bild zu platzieren. Dabei werden [Delay \(Musik\)](#)-Zeiten zwischen 0 und 30 ms benutzt. Werden die Verzögerungen länger als 50 ms, so werden zwei getrennte Schallereignisse hörbar.

Haas-Effekt

auch "Gesetz der ersten Wellenfront" bzw. "Präzedenz-Effekt" genannt



aus Wikipedia:

Gesetz der ersten Wellenfront:

Zwei ähnliche Signale, die aus unterschiedlichen Richtungen kommen (z. B. Direktschall und ein Rückwurf), werden aus der Einfallsrichtung lokalisiert, aus der die erste Wellenfront eintrifft. Dieser Sachverhalt wird Gesetz der ersten Wellenfront bzw. Präzedenzeffekt genannt. Die Verzögerung des zweiten Signals darf allerdings eine gewisse Schwelle (Echoschwelle) nicht überschreiten, da der Hörer in einem solchen Fall zwei einzelne Signale (z. B. Direktschall und Echo) wahrnimmt.

Die Echoschwelle ist abhängig von der Verzögerungszeit und dem Pegel (!) des zweiten Signals. Ist die Verzögerung des zweiten Signals kleiner 3 ms, so entsteht ein anderes Phänomen, die [Summenlokalisierung](#) bei der [Richtungslokalisierung](#).

Der Präzedenzeffekt zeigt, dass das Hörsystem den zuerst am Gehör eintreffenden Direktschall bei der Bestimmung der Richtung eines Hörereignisses (auditives Objekt) stärker berücksichtigt, als die zeitlich später eintreffenden Rückwürfe. Wenige Millisekunden nach dem Direktschall eintreffende Rückwürfe werden dabei nicht als einzelne Hörereignisse wahrgenommen. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Gewöhnung an eine reflexionsbehaftete Umgebung den Präzedenzeffekt verstärkt (Aufbau des Präzedenzeffekts), während bestimmte Änderungen des auditiven Szenarios den Präzedenzeffekt wieder zurücksetzen (Einbruch des Präzedenzeffekts). Wenn ein Hörer sich an ein auditives Szenario gewöhnt hat, werden Rückwürfe, die keine relevante Information für den Hörer bieten, unterdrückt. Neue "unerwartete" Rückwürfe werden weniger stark unterdrückt, da sie auch neue Information über die Umgebung beinhalten. Ein alternativer Erklärungsversuch besagt, dass der Aufbau des Präzedenzeffekts selektiv für die Richtungen stattfindet, aus denen Rückwürfe beim Hörer eintreffen.

Der **Haas-Effekt** besagt, dass die räumliche Lokalisation von Schallquellen wesentlich vom Zeitpunkt des Eintreffens der Signale abhängt. Dieses kann dazu benutzt werden, durch eine Verzögerung des einen Kanals ein Mono-Signal im Stereo-Bild zu platzieren. Dabei werden [Delay \(Musik\)](#)-Zeiten zwischen 0 und 30 ms benutzt. Werden die Verzögerungen länger als 50 ms, so werden zwei getrennte Schallereignisse hörbar.

Interaktion von Sehen und Hören



Bei widersprüchlichen Informationen durch Hören und Sehen erhält das Sehen die Oberhand gegenüber dem Hören. Dieses Phänomen beobachten wir beim Bauchrednereffekt, wo wir wegen der Mundbewegung der Puppe den Schall von dieser Richtung kommend wahrnehmen. Beim McGurk-Effekt kommt es hingegen zu einer mentalen Interpolation zwischen dem Hör- und Seheindruck: Die sieht die Person "ga-ga" sprechen, wobei das Video mit "ba-ba" unterlegt ist. Wahrgenommen wird von den meisten Hörern allerdings "da-da", was einen Kompromiss darstellt.

Interaktion von Sehen und Hören



Bei widersprüchlichen Informationen durch Hören und Sehen erhält das Sehen die Oberhand gegenüber dem Hören. Dieses Phänomen beobachten wir beim Bauchrednereffekt, wo wir wegen der Mundbewegung der Puppe den Schall von dieser Richtung kommend wahrnehmen. Beim McGurk-Effekt kommt es hingegen zu einer mentalen Interpolation zwischen dem Hör- und Seheindruck: Die sieht die Person "ga-ga" sprechen, wobei das Video mit "ba-ba" unterlegt ist. Wahrgenommen wird von den meisten Hörern allerdings "da-da", was einen Kompromiss darstellt.

Interaktion von Sehen und Hören

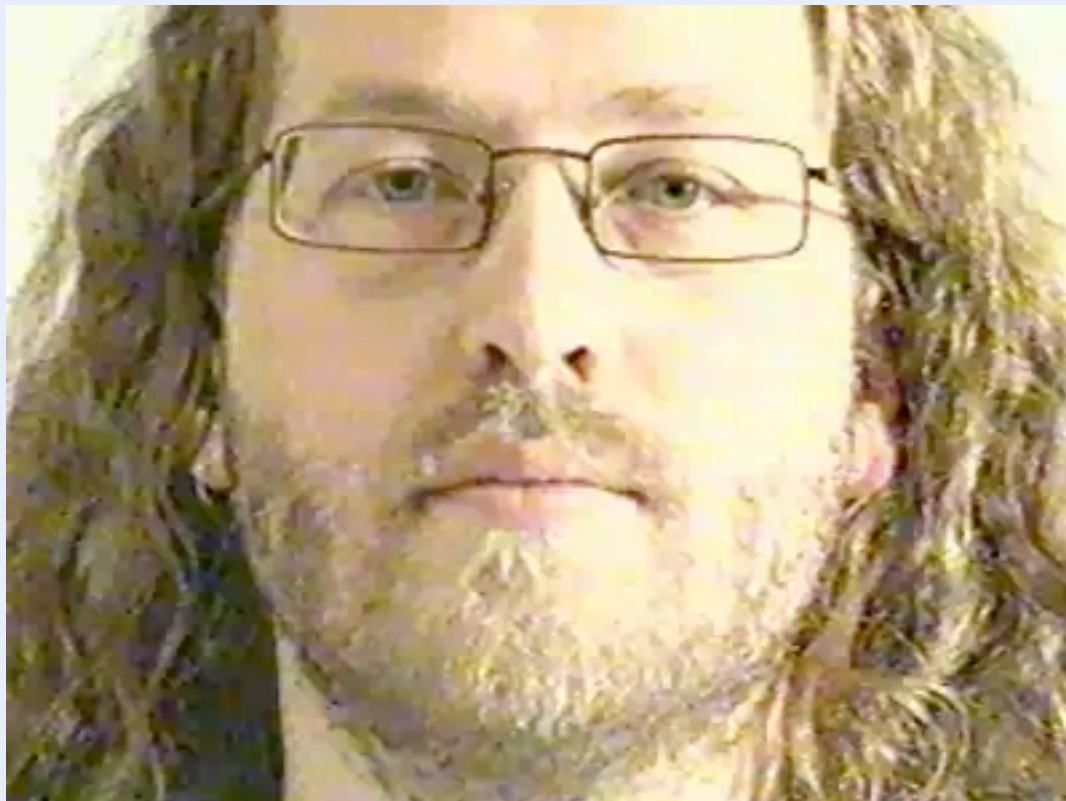


Bei widersprüchlichen Informationen durch Hören und Sehen erhält das Sehen die Oberhand gegenüber dem Hören. Dieses Phänomen beobachten wir beim Bauchrednereffekt, wo wir wegen der Mundbewegung der Puppe den Schall von dieser Richtung kommend wahrnehmen. Beim McGurk-Effekt kommt es hingegen zu einer mentalen Interpolation zwischen dem Hör- und Seheindruck: Die sieht die Person "ga-ga" sprechen, wobei das Video mit "ba-ba" unterlegt ist. Wahrgenommen wird von den meisten Hörern allerdings "da-da", was einen Kompromiss darstellt.

Interaktion von Sehen und Hören



Bei widersprüchlichen Informationen durch Hören und Sehen erhält das Sehen die Oberhand gegenüber dem Hören. Dieses Phänomen beobachten wir beim Bauchrednereffekt, wo wir wegen der Mundbewegung der Puppe den Schall von dieser Richtung kommend wahrnehmen. Beim McGurk-Effekt kommt es hingegen zu einer mentalen Interpolation zwischen dem Hör- und Seheindruck: Die sieht die Person "ga-ga" sprechen, wobei das Video mit "ba-ba" unterlegt ist. Wahrgenommen wird von den meisten Hörern allerdings "da-da", was einen Kompromiss darstellt.



Interaktion von Sehen und Hören



Bei widersprüchlichen Informationen durch Hören und Sehen erhält das Sehen die Oberhand gegenüber dem Hören. Dieses Phänomen beobachten wir beim Bauchrednereffekt, wo wir wegen der Mundbewegung der Puppe den Schall von dieser Richtung kommend wahrnehmen. Beim McGurk-Effekt kommt es hingegen zu einer mentalen Interpolation zwischen dem Hör- und Seheindruck: Die sieht die Person "ga-ga" sprechen, wobei das Video mit "ba-ba" unterlegt ist. Wahrgenommen wird von den meisten Hörern allerdings "da-da", was einen Kompromiss darstellt.

