

Akustik-1×1 für die Klangraumarchitektur

Was ist der Unterschied zwischen Ruhe und Stille? Warum klingt Lärm hinter einer Mauer dumpf? Wie erreicht man, dass ein Wasserplätschern auf dem ganzen Platz angenehm hörbar ist? Wie laut darf es sein, damit man sich auf der Parkbank noch entspannt unterhalten kann? Wieviel Schall schluckt Rasen? Hier sind die akustischen Grundlagen, zugeschnitten auf die Klangraumgestaltung.

Begriffe

Schall

Unter (Luft-)Schall versteht man feine Druckschwankungen in der Luft im menschlichen Hörbereich, das heisst mit Frequenzen zwischen 16 Hz und 20'000 Hz (Hertz = Schwingungen pro Sekunde). Schall unter 16 Hz nennt man Infraschall, solchen über 20'000 Hz Ultraschall.

Die Schallwellen breiten sich in der Luft mit 343 Meter pro Sekunde aus, sei es direkt von der Quelle zum Empfänger, sei es indirekt über eine oder mehrere Reflexionen an Oberflächen.

Körperschall dagegen breitet sich in festen Materialien aus, z. B. in den Balken eines Holzhauses. Körperschall ist aber in der Klangraumgestaltung – anders als im Wohnungsbau – kaum je von Bedeutung, denn im Freien überwiegt immer der Luftschall.

Lärm

Mit Lärm wird unerwünschter, lästiger oder schädlicher Schall bezeichnet. Während es sich bei Schall also um einen rein physikalischen Vorgang handelt, definiert sich Lärm immer über eine subjektive Wertung. Erst nach der Aufnahme des Schallsignals durch unsere Ohren und der Weiterleitung des Reizes zum Gehirn findet die individuelle Bewertung statt.

Die deutsche Sprache unterscheidet zwischen Lärm (negativ), Geräusch (wertfrei) und Rauschen (Klang), während französisch *bruit* und englisch *noise* sowohl für Lärm wie für Geräusch wie auch für Rauschen stehen können (z. B. «*bruit rose*» / «*pink noise*» für das Messignal «Rosa Rauschen»).

Stille und Ruhe

Stille bezeichnet die Abwesenheit von jeglichem Geräusch. Stille kann auf die Dauer verunsichernd und bedrückend wirken, wenn wir jedes Lebenszeichen, aber auch jede Rückwirkung (z. B. Reflexion) aus der Umgebung vermissen. Ruhe steht zwar auch für die Abwesenheit von Lärm, aber ebenso für unsere eigene Ruhe. Ruhe ist durchaus mit einem gewissen Umgebungsgeräusch vereinbar. Dieses darf aber der Entspannung nicht entgegenstehen, vor allem keine Hektik ausstrahlen. Ein Umgebungsgeräusch mit Geräuschen aus der Natur erfüllt diese Anforderung fast immer.

Klangraum

Unter Klangraum wird ein Aussenraum mit all seinen Geräuschen und Klängen verstanden. Auf einen Platz dringen Geräusche von aussen ein, wie bspw. Verkehrslärm. Der Klangraum wird aber auch von Geräuschen innerhalb des Raumes bestimmt – bspw. von spielenden Kindern, Vogelgezwitscher, Schritgeräuschen usw. Alle Klänge werden ihrerseits geformt von der Umgebung, wie den Gebäuden, den Böden oder der Vegetation.

Anmerkung: Während in der Akustik die Begriffe Geräusch und Klang unterschieden werden, werden sie in der Klangraumgestaltung gleichgesetzt.

Klangqualität und Aufenthaltsqualität

Die akustische Qualität oder Klangqualität eines Aussenraums ist in der Klangraumgestaltung nicht Selbstzweck, sondern die akustische Komponente der Aufenthaltsqualität. Dass man sich an einem Ort, ohne besonders darauf zu achten, auch mit dem Gehör wohl-

fühlt, ist eine wichtige Voraussetzung für die Erholung. Für die Aufenthalts- und Erholungsqualität eines Ortes sind nicht so sehr der Schallpegel (Lautstärke) oder das Frequenzspektrum (Tonlage) ausschlaggebend, sondern vor allem qualitative Aspekte der

Geräuschlandschaft – insbesondere die Vielfalt an positiv empfundenen Geräuschen. Natürliche Geräusche werden überwiegend positiv wahrgenommen, technische Geräusche meist negativ.

Schallgrössen

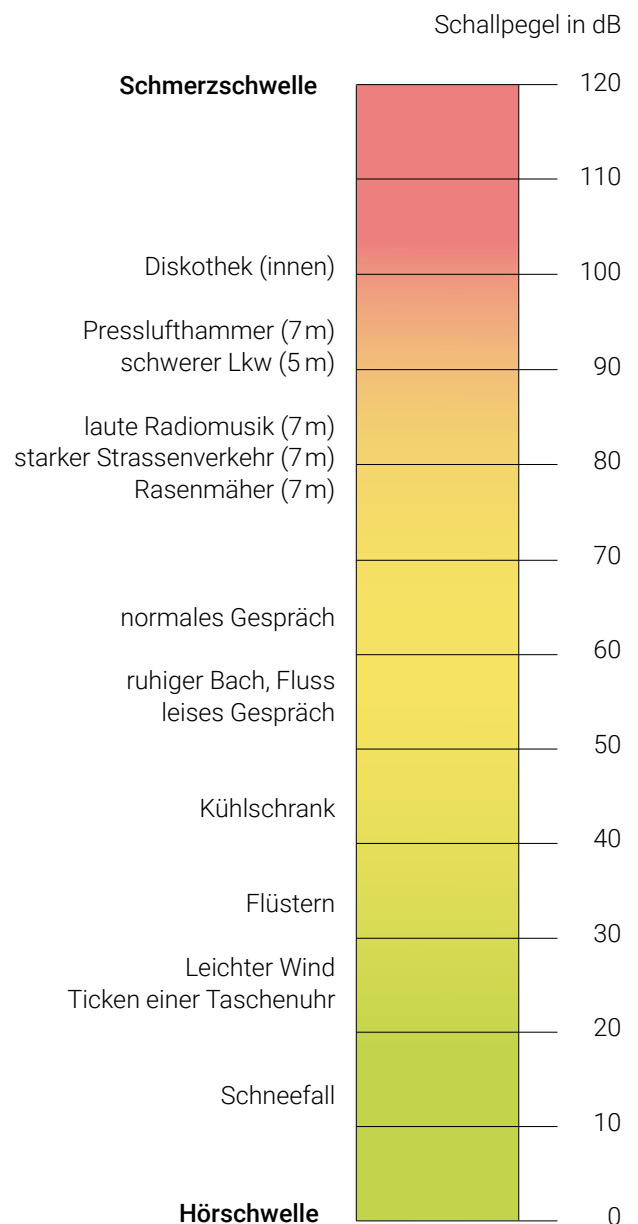
Schalldruckpegel oder Schallpegel

Die kleinen Druckschwankungen durch Schall (man spricht auch von Schalldruck) überlagern sich dem atmosphärischen Luftdruck. Das menschliche Ohr ist nicht nur ein ausserordentlich empfindliches Organ, sondern deckt auch einen grossen Schalldruckbereich ab. Zwischen Hörschwelle und Schmerzschwelle liegt ein Schalldruckverhältnis von 1:1 Million. Wie bei anderen Sinnesorganen findet die Wahrnehmung auf einer komprimierten Skala statt. Daher verwendet man nicht den Schalldruck in Pascal (Pa), sondern den Schallpegel in Dezibel (dB) auf einer logarithmischen Skala. So kommt man zu Werten zwischen 0 dB (Hörschwelle) und 120 dB (Schmerzschwelle). Sehr laute Geräusche wie der Start eines Militärsjets können mehr als 120 dB erreichen, ebenso ein Gewehrschuss oder eine Airbag-Detonation, die kurzzeitig 160 dB erreichen.

Das Gehör ist bei tiefen Frequenzen weniger empfindlich als bei hohen. Deshalb verwendet man für gehörbezogene Messungen ein Bewertungsfilter, das tiefe Frequenzen entsprechend abschwächt. So erhält man den Schallpegel in dB(A). Werte in dB(A) sind so populär, dass in den Medien häufig von Dezibel die Rede ist, aber dB(A) gemeint sind.

Nachteilig an der logarithmischen Skala ist, dass sich Schallpegel nicht einfach addieren oder subtrahieren lassen. Zwei gleich laute Quellen zum Beispiel mit 60 dB(A) ergeben bei gleichzeitigem Betrieb nicht 120 dB(A), sondern «nur» 63 dB(A). Für eine Pegelzunahme um 10 dB(A) wären zehn gleich laute Quellen nötig.

Eine Pegelerhöhung um 3 dB ist zwar deutlich wahrnehmbar, entspricht aber nicht einer verdoppelten Lautstärke. Damit wir ein Geräusch als doppelt so laut respektive als halb so laut wahrnehmen, braucht es einen Pegelunterschied von plus 10 bzw. minus 10 dB(A).



Geräusche und jeweilige Schallpegel in dB(A)

Frequenz und Tonhöhe

Die Frequenz nehmen wir als Tonhöhe wahr. Ganz tiefe Töne fühlen wir mehr als wir sie hören. Tiefe Bässe im zweistelligen Frequenzbereich werden als Wummern beschrieben. Als Brummen bezeichnen wir Frequenzen um 100 Hertz, als Röhren solche von ein paar Hundert Hertz. Der Kernbereich der Sprache reicht von 300 Hz bis 3000 Hz (dieser Bereich wird vom Telefon übertragen), doch für die Unterscheidung der Zischlaute braucht es auch die Frequenzbänder 4000 und 6000 Hz. Vögel zwitschern bei 1000 oder 2000 bis 8000 Hz. Bei noch höheren Frequenzen zirpen Grillen.

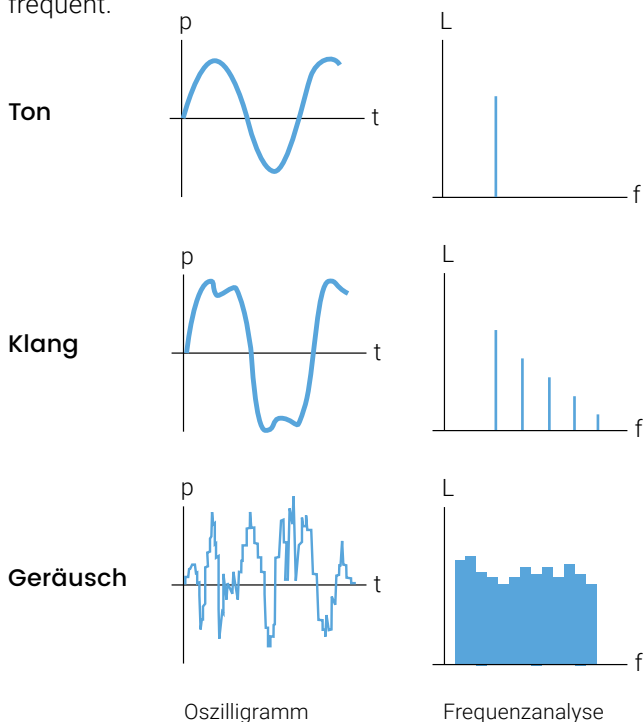


[Klavertastatur und Sinuston von 25 Hz bis 16 kHz](#)

Weil unsere obere Hörgrenze mit dem Alter abnimmt, sind hier im Alltag die Unterschiede zwischen Menschen unterschiedlichen Alters am grössten: Die Jungen finden Grillen laut, die Älteren fragen «Welche Grillen?»

Ton, Klang und Geräusch

Das Spektrum zeigt die Aufschlüsselung nach den gleichzeitig vorkommenden Frequenzen (Frequenzanalyse). In den Geräuschen des Alltags sind meist alle Frequenzen mehr oder weniger enthalten, aber nicht gleich stark: Bei einer Kreissäge beispielsweise sind die hohen Frequenzen vorherrschend, bei einer Windenergieanlage die tiefen. Dies hängt mit den Dimensionen der Objekte zusammen, die den Schall erzeugen. Deshalb singen und zwitschern Vögel bei hohen Frequenzen, der Elefant hingegen trompetet tief-frequent.



Technische Geräusche mit überwiegend hohen Frequenzen werden als lästiger empfunden als solche mit tiefen. Zugleich können aber tiefe Geräusche wie zum Beispiel Strassenlärm aufgrund ihrer grossen Wellenlänge mit Lärmschutzmassnahmen nur begrenzt gedämpft werden und breiten sich über grosse Distanzen aus. Allgemein treten reintonhaltige Klänge leichter aus dem Umgebungslärm hervor und fallen mehr auf. In der Akustik spricht man beim Zusammenspiel eines Grundtons mit verschiedenen starken Obertönen bei Mehrfachen der Grundfrequenz von einem (harmonischen) Klang. Die Klänge von Musikinstrumenten – z. B. Oboe und Fagott – unterscheiden sich beim Spielen des gleichen Tons in der Zusammensetzung der Obertöne.

In der Klangraumgestaltung spricht man aber auch von Klängen, wenn kein harmonisches Obertonspektrum vorliegt.

Psychoakustische Grössen

Psychoakustik meint die Wahrnehmung von Geräuschen und Klängen durch das menschliche Gehör. Im Bemühen, unserer Wahrnehmung näher zu kommen als mit dem Schallpegel in dB(A), wurden Kenngrössen geschaffen, welche die spektralen und zeitlichen Eigenschaften des Schallsignals detaillierter beschreiben: Die Lautstärke trägt der frequenz- und pegelabhängigen Empfindlichkeit des Gehörs und vor allem der gegenseitigen Verdeckung von Schallsignalen Rechnung (ein Schallsignal bei einer Frequenz kann Signale bei leicht höherer Frequenz unhörbar werden lassen oder eben verdecken)

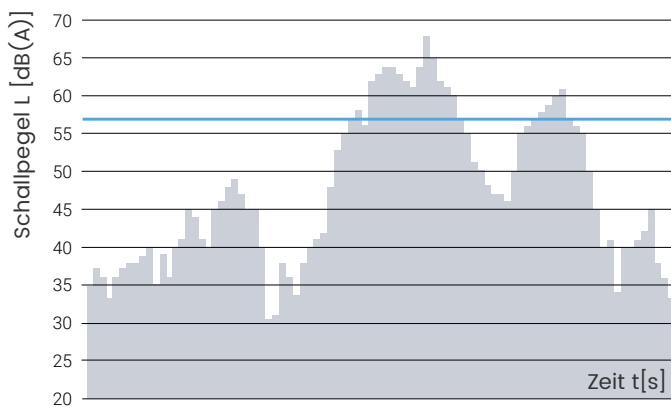
- Die Schärfe steht für Anteile im oberen Frequenzbereich, die ein Geräusch scharf klingen lassen.
- Die Rauigkeit bezeichnet schnelle Modulationen (über 20 Hertz). Sie ist aber nicht verbindlich normiert.
- Die Schwankungsstärke beschreibt langsamere Modulationen des Schallsignals mit wenigen Hertz.

Diese Grössen können zum Vergleich von Geräuschen gleichartiger Produkte nützlich sein. Aber wenn es um die Wahrnehmung von verschiedenartigen Geräuschen im Klangraum geht, zählt nicht so sehr das Geräusch selbst als vielmehr die Schallquelle oder das Ereignis dahinter und unsere Beziehung dazu. Das Zwitschern eines Vogels würde aufgrund der psychoakustischen Kennwerte als unangenehm oder gar lästig beurteilt. In urbaner Umgebung aber sind Vögel die Boten der Natur, und wir freuen uns, sie zu hören.

[Klangraum erleben](#) →

Mittelungspegel L_{eq}

Gerade Strassenverkehr zeichnet sich durch grosse Pegelschwankungen aus. Als physikalisch klar definierten Einzahl-Messwert verwendet man deshalb den energetisch gemittelten Pegel L_{eq} (Linie bei 57 dB), der dieselbe Schallenergie enthält wie der von 30 bis 68 dB schwankende reale Schallpegel (graue Fläche). Integrierende Schallpegelmesser führen diese Berechnung fortlaufend durch. Der L_{eq} ist aber auch die wichtigste Grösse bei Schallausbreitungsberechnungen und bei den gesetzlichen Grenzwerten.



Beispiel Pegel-Zeit-Diagramm und L_{eq}
 Stark schwankender realer Momentanschallpegel und Mittelungspegel

Unsere Wahrnehmung wird aber geprägt von der momentanen Lautstärke – vor allem bei lauten Einzelereignissen – und den Pausen.

Schallausbreitung

Schall unterliegt bei seiner Ausbreitung von der Quelle (Emission) zum Empfangspunkt (Immission) verschiedenen Einflüssen, die ihn dämpfen, verstärken, umlenken oder in seinem Spektrum verändern. Was aber nicht ändert (ausser bei einer bewegten Quelle oder einer bewegten Reflexionsfläche), ist die Frequenz. Zwar können die Obertöne mehr abgeschwächt werden als der Grundton, womit der Klang weniger hell wirkt, aber die Frequenzen des Grundtons und der Obertöne bleiben bei der Ausbreitung unverändert.

Abstandsdämpfung

Mit zunehmendem Abstand zur Lärmquelle verringert sich der Schallpegel, weil sich die Schallenergie auf eine immer grössere Fläche verteilt.



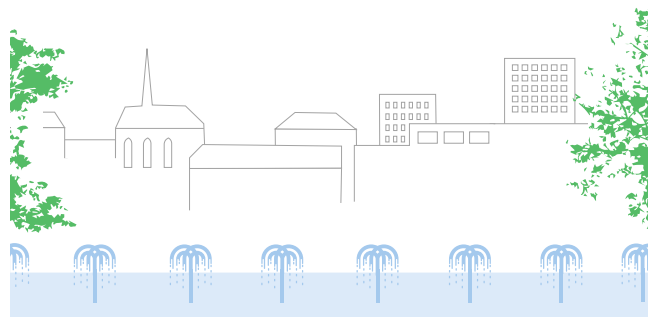
Bei einer Punktquelle (Brunnen) ist im Freien bei jeder Abstandverdoppelung ein um 6 dB tieferer Schallpegel zu erwarten:

5 m x dBA 10 m x-6 dBA 20 m x-12 dB



Brunnen auf dem Münsterhof

aus 2 / 4 / 8 / 16 / 32 m Abstand



Bei einer Linienquelle (z. B. einem sehr langen Wasserspiel) nimmt der Mittelungspegel bei der Verdoppelung der Distanz nur um 3 dB ab:

5 m x dBA 10 m x-3 dBA 20 m x-6 dB

Allerdings gilt dies nur bis zu einem Abstand von etwa 1/3 der Schallquellenlänge. Von noch weiter weg erscheint die Linienquelle als Punktquelle.

Aspektwinkel

Als Aspektwinkel wird in der Lärmbekämpfung der Winkel bezeichnet, unter dem eine ausgedehnte Schallquelle – eine Strasse oder Eisenbahnlinie – sicht- und hörbar ist.

Wenn zum Beispiel eine hohe Mauer den Aspektwinkel einer Strasse begrenzt, reduziert sich der Schallpegel von der Strasse am Empfangspunkt entsprechend. Ist aber das Hindernis ein Gebäude, dann ist immer auch dessen Seitenfläche zu berücksichtigen, denn diese kann den Schall aus der Gegenseite reflektieren und damit den Winkel, aus dem Schallquellen gehört werden, wieder vergrössern. Dieser Effekt ist im Limmathof in Dietikon zu beobachten.

In einem Park direkt an der Strasse hört man diese nicht als Linienquelle, sondern die einzelnen Fahrzeuge als bewegte Punktquellen. Ein Schallhindernis, das abrupt endet, führt bei bewegten Schallquellen, sobald sie sichtbar werden, zu einem Lautstärkeprung. Das kann sie auffälliger machen.



Aspektwinkel und Schallquelle (rot), die wegen der seitlichen Spiegelreflexion zusätzlich gehört wird.

Weil tiefe Frequenzen leichter gebeugt werden, während sich hohe eher geradlinig ausbreiten (=> Beugung), ist der Klang hinter dem Hindernis dumpfer. So wirkt der Lärm weniger laut und vor allem weiter entfernt.

Um eine relevante Hinderniswirkung zu erreichen, muss das Hindernis auch horizontal einen möglichst grossen Winkel abdecken. Selbstverständlich darf das Hindernis weder mitschwingen noch Schall passieren lassen. Es muss also genügend schwer sein (Flächengewicht von mindestens 10 kg/m²) und luftdicht ohne Spalten oder Löcher.

Durchgangsdämpfung

Wenn Schall durch ein teilweise schalldurchlässiges Hindernis dringt, so werden besonders die hohen Frequenzen gedämpft, tiefe Frequenzen durchdringen das Hindernis eher. In der Klangraumgestaltung tritt dieser Effekt vor allem bei Hecken auf.

[Mehr Ruhe durch Hecken \(PDF\)](#)

Hindernisdämpfung

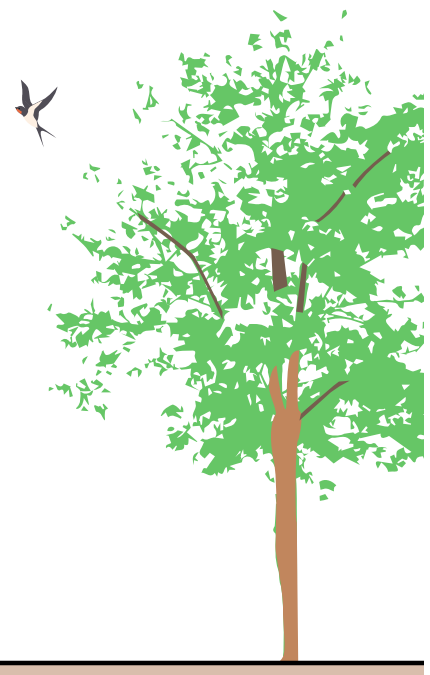
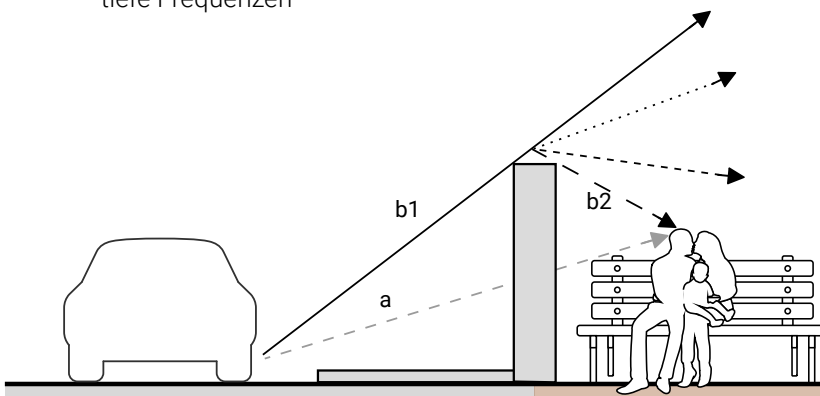
Wird der Schallstrahl von der Quelle zum Empfangspunkt durch ein Hindernis unterbrochen, resultiert eine Hindernisdämpfung. Die Wirkung ist umso grösser, je länger der Umweg des umgelenkten Schallstrahls gegenüber dem direkten Schallweg ist, d. h. je mehr das Hindernis über die direkte Sichtverbindung hinausragt und je näher an der Quelle es sich befindet.

Bodeneffekt

Bei der Ausbreitung von Lärm flach über Erdboden oder Wiesland kann eine teilweise Löschung zwischen dem Direktschall und dem am Boden reflektierten Schall auftreten, die zu einer Abschwächung der Frequenzen um 500 Hz führt. Hier werden also ausnahmsweise tiefe Frequenzen mehr abgeschwächt als hohe. Dieser Effekt wurde bei Messungen an [Hecken](#) wegen dem aufgelockerten Erdboden darunter beobachtet, aber auch bei der [niedrigen Mauer am Hermannpark \(PDF\)](#) in Winterthur.

Wirkung einer Mauer:

- a direkter Schallweg (ohne Mauer)
- b1 + b2 Schallweg mit Mauer
- hohe Frequenzen
- mittlere Frequenzen
- - - - tiefe Frequenzen



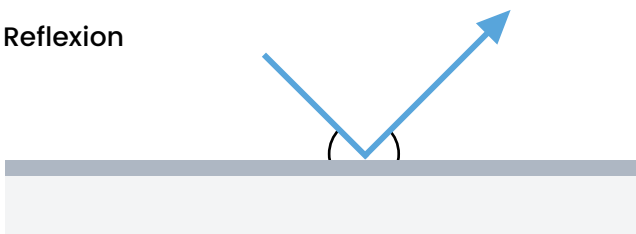
Schallausbreitung über Wasser

Die Schallausbreitung über Wasserflächen von Flüssen, Teichen und Seen ist besonders gut, weil die Wasseroberfläche den Schall reflektiert und sich über kühlem Wasser eine Art von Schallkanal ausbildet.

Luft- und meteorologische Dämpfung

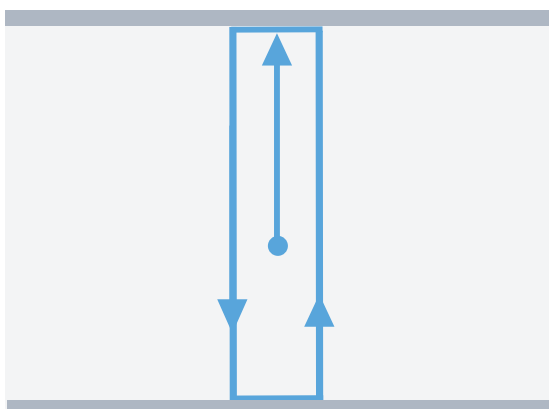
Über grössere Entfernungen wird zusätzlich die distanzproportionale Luftdämpfung wirksam – wiederum besonders bei hohen Frequenzen. Dazu kommen meteorologische Einflüsse. Diese sind an Empfangspunkten nahe an der Quelle nicht relevant, wohl aber zu berücksichtigen, wenn eine Schallquelle weiter entfernt ist.

Reflexion



Der Vorgang, dass Schallwellen von einer Oberfläche zurückgeworfen werden, wird als Reflexion bezeichnet. Je schallhärter, d. h. je weniger schallschluckend das Material, umso stärker sind die Reflexionen. Ferner gilt bei ebenen Flächen, dass der Einfallswinkel des Schalls gleich dem Ausfallswinkel ist (Spiegelreflexion). An strukturierten Oberflächen wird der Schall gestreut. Gebäude sind in der Regel akustische Reflektoren, und je nach deren Anordnung in einer städtischen Umgebung können Schallwellen mehrfach hin und her reflektiert werden.

Echo und Flatterecho



Wird Schall an einer glatten Fläche reflektiert und ist der Schallweg grösser als wenige Meter, hört man ein Echo, besonders schön, wenn die Distanz und die Flächen gross sind, in den Bergen oder über eine Wasserfläche hinweg, wie an der Reuss in Luzern.



[Jesuitenkirche Luzern](#)

Stehen sich zwei reflektierende Flächen parallel gegenüber und sind die beiden anderen Seitenflächen absorbierend, stehen schief oder fehlen ganz, entsteht eine repetitive Reflexion. Man spricht lautmalerisch von einem Flatterecho. Mit Klatschen wird es gut hörbar. In einem kleinen Raum folgen sich die einzelnen Echos so rasch, dass sich dem Schallsignal ein Sirren oder Flirren überlagert. Ein solches Flatterecho wirkt sehr unnatürlich und irritiert. Im modernen Bauwesen mit präziser Ausrichtung von Wänden und Gebäuden tritt es aber oft auf, z. B. zwischen Boden und Decke oder im Freien zwischen parallelen Gebäudefassaden.



[Flatterecho Mythenquai](#)

Nachhall



Wenn mehrfache Reflexionen sich so dicht folgen, dass kein einzelnes Echo herauszuhören ist, dann spricht man von Nachhall. In einem leeren Kirchenraum verklingt der Nachhall erst nach ein paar Sekunden (Nachhallzeit).



[Nachhall in einem Kirchenraum](#)

Besonders auffällig ist der Nachhall in nicht allzu grossen, aber voll reflektierenden Räumen wie in der vollständig gekachelten Unterführung in Glanzenberg ZH ("Badezimmerakustik").



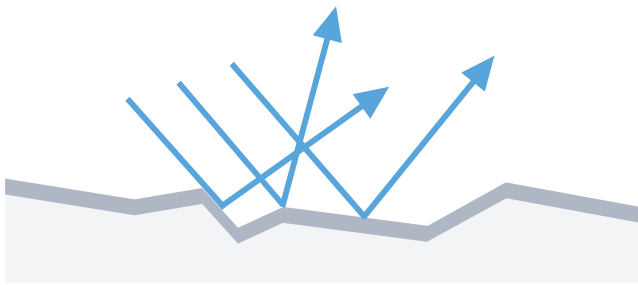
[Nachhall in der Unterführung Glanzenberg](#)

Nachhall wird nicht nur in Räumen hörbar, sondern auch auf allseitig geschlossenen Plätzen wie dem Hirschenplatz in der Altstadt von Luzern.

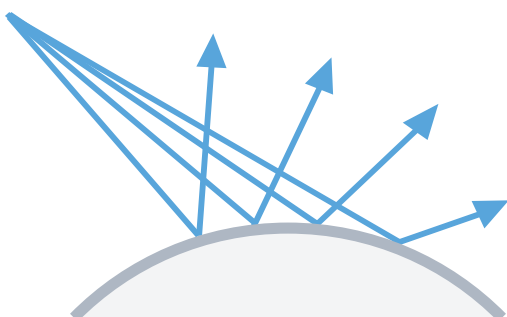


[Akustik auf einem Altstadtplatz](#)

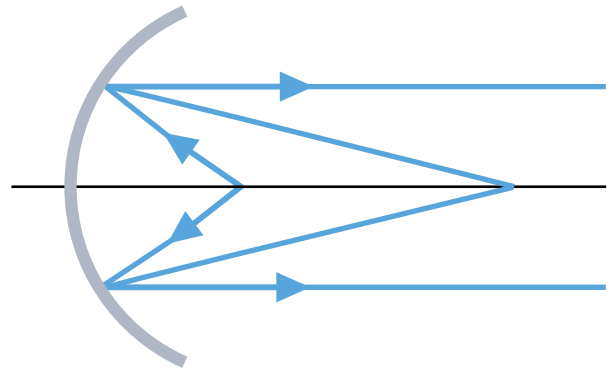
Streuung



Hier wird der Schall nicht spiegelartig reflektiert, sondern gestreut. Je körniger, je reliefartiger, je plastisch geformter eine Wand oder Oberfläche ist, desto intensiver ist die Streuung. Streuung gehört damit auch zur wichtigsten Artikulation für die Gestaltung des Klangraumes. Sehr glatte Wände generieren einen akustisch «kantigen» Raum mit viel Nachhall und Echos sowie Klangverzerrungen. Schallstreuende Bauteile und Bauteilanordnungen führen zu einer qualitativ reichen Raumakustik. Dazu gehören reliefierte Oberflächen, Fensterlaibungen, Vorsprünge, Kanten, plastische Verzierungen oder Stützen. Der Streueffekt hängt dabei stark von der Wellenlänge, d.h. der Tonhöhe des Schalls ab. Damit Streuung erfolgt, muss die Reliefierung der Oberfläche gleich gross oder grösser sein als die Wellenlänge, da der Schall ansonsten streng geometrisch reflektiert wird. Wo Oberflächen hohe Töne bereits streuen, können sie für tiefe Töne noch glatt sein und den Schall spiegelartig reflektieren. Die menschliche Sprache – inklusive ihrer Obertöne und Zischlaute – kann ein Frequenzspektrum von ca. 80 Hz bis 12'000 Hz umfassen. Da dies Wellenlängen von gut 4 m bis knapp 3 cm entsprechen, ist die architektonische Gestaltung gerade auch für die akustische Modulation von Sprache wirksam. Grosse konvexe Formen streuen den Schall über einen weiten Frequenzbereich und werden deshalb oft in Konzerträumen eingesetzt.

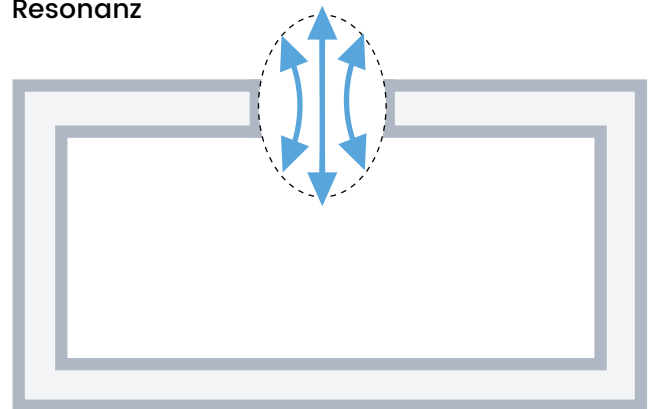


Fokussierung



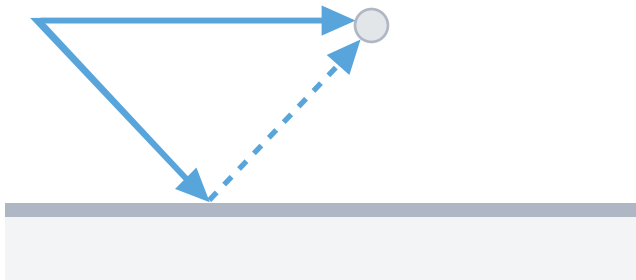
Eine konkave Form bündelt den Schall. Nicht nur wird aus axialer Richtung eintreffender Schall im Brennpunkt konzentriert, sondern umgekehrt wird Schall, der im Brennpunkt entsteht, in axialer Richtung konzentriert abgestrahlt und auf grössere Distanz hörbar. So kann der Klang eines kleinen Brunnens gezielt unterstützt und in eine bestimmte Richtung projiziert werden.

Resonanz



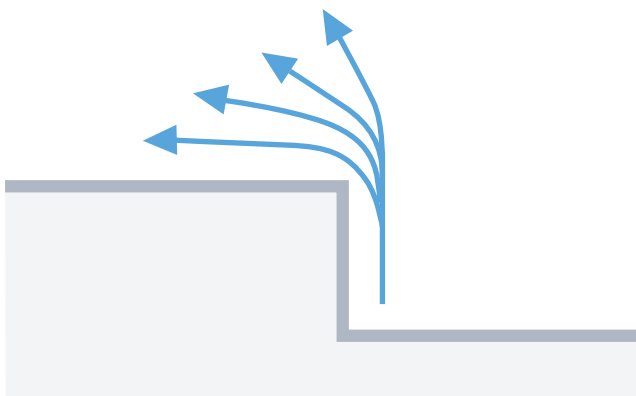
Ein besonderer Fall der mehrfachen Reflexion ist die Resonanz. Zwischen Gebäuden oder in Innenhöfen können je nach Anordnung bei tiefen Frequenzen stehende Wellen mit örtlichen Maxima auftreten, welche z. B. bei Verkehrslärm oder dem Brummen von Lüftungsanlagen unangenehm auffallen. Der Effekt der Resonanz kann auch bei Hohlräumen auftreten. Orgelpfeifen vermitteln einen Eindruck davon, wie Tonhöhe und Abmessungen zusammenhängen. Eine durch Resonanz bedingte Hervorhebung gewisser Frequenzen verändert die Klangfarbe. Zum Beispiel können Hohlräume bei einem Brunnen die tiefen Frequenzen verstärken, so dass der Brunnen imposanter klingt, was gerade in einer lauten Umgebung passen kann.

Interferenz



Im Aussenbereich gibt es häufig Situationen, wo dem Direktschall (—) eine einzelne Reflexion am Boden (- - -) oder an einer Wand überlagert ist. Bei dieser Überlagerung werden gewisse Frequenzen verstärkt und andere abgeschwächt oder gar gelöscht. Durch diese sogenannten Interferenzen entstehen eigenartige, künstlich wirkende Klangverfärbungen. Noch auffälliger wird dieser Effekt, wenn sich die Schallquelle bewegt und damit der Wegunterschied von Direktschall und reflektiertem Schall ändert, so dass andere Frequenzen betroffen sind.

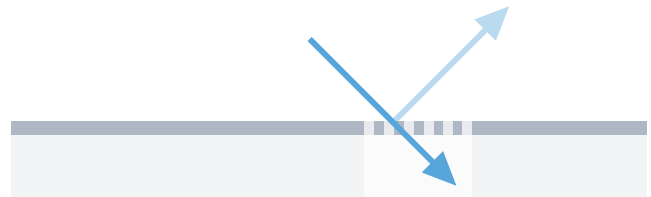
Abschirmung/Beugung



Hindernisse wie Gebäude, Mauern oder Hügel und Schallschutzwände sorgen dafür, dass es hinter dem Hindernis weniger laut ist, wenn die Sichtlinie zwischen Quelle und Hörposition unterbrochen ist. Der Schall wird aber an der Hinderniskante etwas abgelenkt; man spricht von Beugung. Er breitet sich durch Beugung in Raumbereiche aus, die bei nur gerader Ausbreitung vom Hindernis verdeckt wären. Weil der Beugungseffekt stark von der Frequenz abhängt,

verfärbt sich das Klangbild hinter Hindernissen – es wird dumpfer, weil tiefe Töne, deren Wellenlänge grösser ist als das Hindernis, besser um das Hindernis gelangen, hohe aber viel weniger gut.

Absorption



Mit der Schallabsorption wird ausgesagt, wie viel vom eintreffenden Schall an einer Oberfläche geschluckt wird. Wieviel Schall in einem Raum gesamthaft absorbiert wird, hat einen Einfluss auf den Nachhall und auf die Lautstärke. Wie die Schallstreuung ist auch die Schallabsorption frequenzabhängig. Gut wirksame Schallabsorber im Mittel- und Hochtonbereich (Sprachbereich) sind poröse Materialien, wenn sie eine Dicke von mindestens 50 mm aufweisen. Diese vermögen jedoch tiefe Frequenzen nicht zu absorbieren. Schallharte, nicht schwingungsfähige und schwere Materialien wie Beton, Holz oder schweres Glas absorbieren den Schall praktisch nicht. Offene Flächen (offene Fenster, die Deckfläche des offenen Innenhofs) entsprechen einer vollständigen Absorption, denn von dort kommt kein Schall zurück. Grasflächen mit ihrem Untergrund absorbieren rund 50 % des Schalls.

Sprachverständlichkeit

Kommunikationsfreundlichkeit ist eine wesentliche Anforderung an einen öffentlichen Freiraum (Park, Stadtplatz, Innenhof), der (auch) der Erholung dienen soll: Man will sich dort entspannt und differenziert unterhalten können. Für eine genügende Privatsphäre sollte andererseits die Verständlichkeit auf grössere Distanz nicht allzu gut sein, so dass Unbeteiligte nicht alles verstehen können, was man dort spricht. Besonders wichtig für das Verstehen von Sprache ist die Unterscheidung der Konsonanten, besonders der Zischlaute. Deshalb werden die Frequenzbänder 2 kHz und 4 kHz je zu ca. 30 % gewichtet. Die tiefen Frequenzen – bei Männern 125 Hz, bei Frauen 250 Hz – tragen wenig zur Sprachverständlichkeit bei (Gewichtung 2 bzw. 5 %), ebenso das Frequenzband um 8 kHz (nur 3 %). Die mittleren Sprachfrequenzen von 500 und 1000 Hz werden mit 13 % bzw. 20 % gewichtet. Sprachverständlichkeit kann als Speech Transmission Index STI gemessen werden, am effizientesten mit der STIPA-Methode mit einem sprachsimulierenden Testgeräusch, das von einem kopfgrossen Laut-

sprecher abgestrahlt wird. In der Klangraumarchitektur nehmen wir eine übliche Distanz vom Sprecher zum Hörer von 1 Meter an und setzen eine entspannte Gesprächslautstärke von 60 dB(A) voraus.

Starker Nachhall (wie in einer Kirche) oder ein lautes Umgebungsgeräusch (wie von einer lauten Strasse) können die Sprachverständlichkeit drastisch verschlechtern.

Für mühelose Verständigung sollte der STI auf 1 m Distanz bei 0.60 oder höher liegen. Das entspricht einer Silbenverständlichkeit von 85 %, einer Wortverständlichkeit von 88 % und einer Satzverständlichkeit von 98 %. Nach praktischen Erfahrungen ist in Stadtpärken, auf Plätzen und in Innenhöfen ein müheloses Gespräch zu zweit bei einem STI von 0.60 gut möglich. Das ist in Aussenräumen bei einem Umgebungslärmpegel von ca. 50 dB(A) jedenfalls gegeben.

STI	Übertragungsqualität IEC 60268-16	Silbenverständlichkeit %	Wortverständlichkeit %	Satzverständlichkeit %
1.00	ausgezeichnet	100	100	100
0.75	gut	98	98	100
0.60	angemessen	85	88	98
0.45	schwach	61	68	93
0.30	unverständlich	32	37	75
0.00		0	0	0