

Akustik–Einmaleins für Architektinnen und Architekten

Was ist der Unterschied zwischen Schall und Lärm? Wie hängen Emissionen und Immissionen zusammen? Und weshalb sind zwei Autos nicht doppelt so laut wie eines? Hier können sich Architektinnen und Architekten das Wichtigste zur Akustik in 15 Minuten aneignen – oder im Studium Gelerntes wieder auffrischen.

Schall

Unter Schall versteht man mechanische Wellen mit Schwingungszahlen im Hörbereich des menschlichen Gehörs, das heisst mit Frequenzen zwischen 16 Hz und 20'000 Hz (Hertz = Anzahl Schwingungen pro Sekunde). Schallwellen unter 16 Hz nennt man Infraschall, solche über 20'000 Hz Ultraschall.

Als Luftschall werden Wellen bezeichnet, die sich in der Luft ausbreiten. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit beträgt etwa 340 Meter pro Sekunde. Typische Beispiele sind die menschliche Stimme, Blasinstrumente oder Staubsauger. Die Schallwellen können sich auf dem kürzesten Weg von der Quelle zum Empfänger ausbreiten oder aber indirekt aufgrund ein- oder mehrfacher Reflexionen an schallreflektierenden Oberflächen.

Körperschall breitet sich in festen Stoffen aus. Die Schallgeschwindigkeit ist in der Regel deutlich grösser als in der Luft, in Stahl beispielsweise etwa 5000 Meter pro Sekunde. Typische Beispiele sind Hämmern oder das Fallenlassen von Gegenständen. Vor allem bei tiefen Frequenzen kann Körperschall durch Berühren wahrgenommen werden. Hörbar ist nur der von Wänden, Decken, Böden, Leitungen oder anderen Oberflächen abgestrahlte «sekundäre Luftschall». Trittschall ist eine spezielle Art des Körperschalls und in der Bauakustik von grosser Wichtigkeit.

Neben reinen Luft- oder Körperschallübertragungen gibt es auch Kombinationen davon. Typische Beispiele sind Klavier, Bassgeige oder Wärmepumpen.

Lärm

Lärm wird oft als «unerwünschter Schall» beschrieben; also Schall, den wir beispielsweise als unangenehm empfinden oder der sogar gesundheitsschädigend wirkt. Während es sich bei Schall also um einen rein physikalischen Vorgang handelt, definiert sich Lärm immer über eine subjektive Wertung. Erst nach der Aufnahme der Schallwellen durch unsere Ohren und der Weiterleitung des Reizes zum Gehirn findet die individuelle Bewertung statt.

Geräusche gelten dann anerkannt als Lärm, wenn sie das körperliche, seelische und/oder soziale Wohlbefinden mindern oder zu Krankheiten führen. Grundwissen zu gesundheitlichen Auswirkungen von Lärm → Lärmquellen mit besonderer Bedeutung sind, Strassenverkehrslärm, Eisenbahnlärm, Fluglärm, Industrie- und Gewerbelärm, Freizeitlärm, Baulärm und Nachbarschaftslärm.

Schallpegel

Schallwellen führen zu sehr kleinen Druckschwankungen, die sich dem atmosphärischen Luftdruck überlagern. Das menschliche Ohr ist ein ausserordentlich empfindliches Organ, welches einen sehr grossen Schalldruckbereich wahrnehmen kann. Gleichzeitig hat das Ohr eine variable – das heisst, bei kleinem Schalldruck eine grosse und bei hohem Schalldruck eine kleine – Empfindlichkeit. Daher wird bei akustischen Beurteilungen nicht der eigentliche Schalldruck in Pascal (Pa), sondern der Schallpegel in Dezibel (dB) verwendet. Dieser hat eine logarithmische Skalierung. Weil das Ohr zudem Geräusche mit vorwiegend tiefen Frequenzen leiser empfindet als solche mit hohen Frequenzen, wird zusätzlich ein Frequenzfilter, der sogenannte A-Filter, zugeschaltet. Er ahmt das frequenzabhängige Hörempfinden des Menschen nach. Mit der dB(A)-Skala kann der Hörbereich des menschlichen Gehörs auf einen kleinen Zahlenbereich von 0 dB(A) (Hörschwelle) bis 120 dB(A) (Schmerzgrenze) reduziert werden. Sehr laute Geräusche wie etwa ein startender Militärjet können Pegel deutlich über 120 dB(A) verursachen.

Nachteilig an der logarithmischen Darstellung 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) werden zehn gleich laute Quellen benötigt.

Sind zwei gleich laute Quellen gleichzeitig in Betrieb, erhöht sich der Pegel um 3 dB(A). Dieser Unterschied ist deutlich zu hören, entspricht aber in der Wahrnehmung nicht einer «Verdoppelung». Um ein «doppelt so lautes» respektive ein «halb so lautes» Geräusch wahrzunehmen, bedarf es einen Pegelunterschied von 10 dB(A).

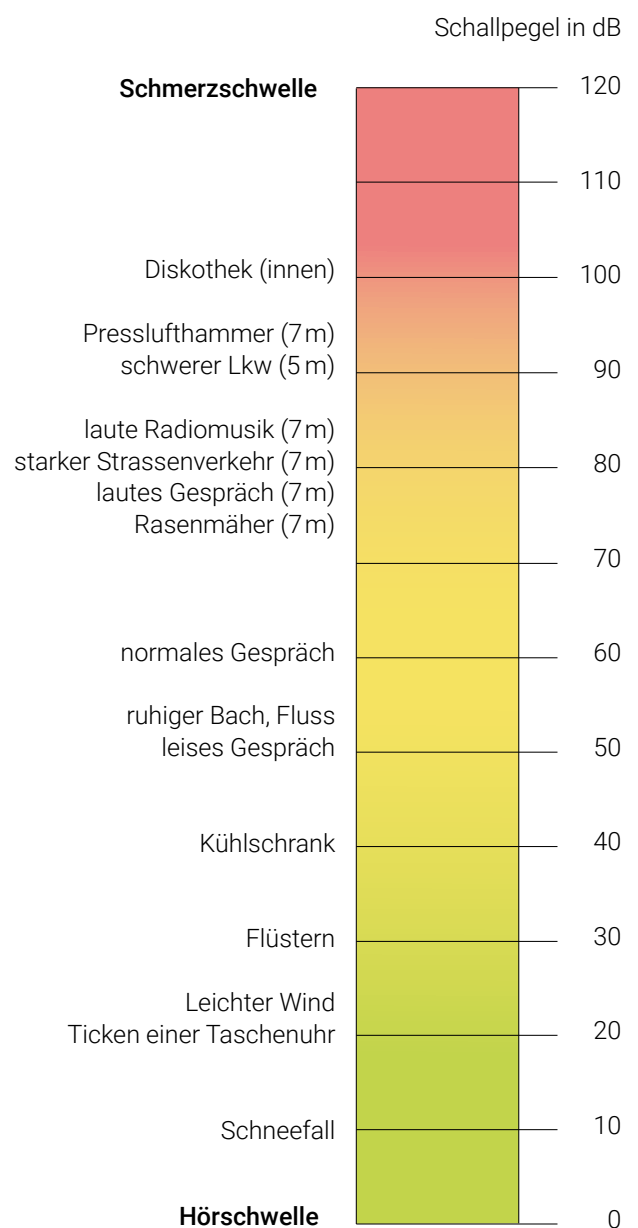


Abb. 1: Geräusche mit den jeweiligen Schalldruckwerten

Spektrum

In den Geräuschen des Alltags sind jeweils alle Frequenzen vertreten. Bei einer Kreissäge beispielsweise sind die hohen Frequenzen vorherrschend, bei einem Windrad die tiefen. Geräusche mit überwiegend hohen Frequenzen werden störender empfunden, als solche mit tiefen. Zugleich können aber tiefe Geräusche aufgrund ihrer grossen Wellenlänge, zum Beispiel Strassenlärm, mit Lärmschutzwänden und dergleichen nur begrenzt gedämpft werden.

Energieäquivalenter Dauerschallpegel Leq

Die meisten Lärmquellen sind in Funktion der Zeit unterschiedlich laut. Im Beispiel der Abb. 2 ist der höchste gemessene Pegel 68 dB(A), der tiefste 30 dB(A) und der mathematisch gemittelte Pegel beträgt circa 47 dB(A). Für lärmrechtliche Beurteilungen sind diese Werte nicht massgebend, sondern der energetisch gemittelte Pegel, der sogenannte energieäquivalente Dauerschallpegel Leq in dB(A). Beim Leq werden die Sequenzen mit höherem Pegel deutlich stärker gewichtet, als die Phasen mit den tiefen

Pegeln. Im Beispiel (Abb. 2) beträgt der Leq ca. 57 dB(A). Der Leq lässt sich an einem Messgerät ablesen oder mit einem Modell berechnen.

Beurteilungspegel Lr

Weil die verschiedenen Lärmquellen von den Menschen unterschiedlich störend wahrgenommen werden (Eisenbahnlärm stört weniger als Strassenverkehrslärm, Industrie- und Gewerbelärm stört eher mehr als Strassenverkehrslärm) ist für lärmrechtliche Beurteilungen der Beurteilungspegel Lr in dB(A) zu bestimmen. Dieser basiert auf dem (gemessen oder berechneten) Leq und Störungs- respektive Akzeptanzkorrekturen K. Die jeweilig massgebenden Pegelkorrekturen sind abschliessend je Lärmart in den Anhängen 3ff der Lärmschutz-Verordnung (LSV) definiert.

$$L_r = L_{eq} + K_i \text{ [dB(A)]}$$

Für jede Lärmart muss der Beurteilungspegel Lr mit dem jeweilig massgebenden Belastungsgrenzwert verglichen werden

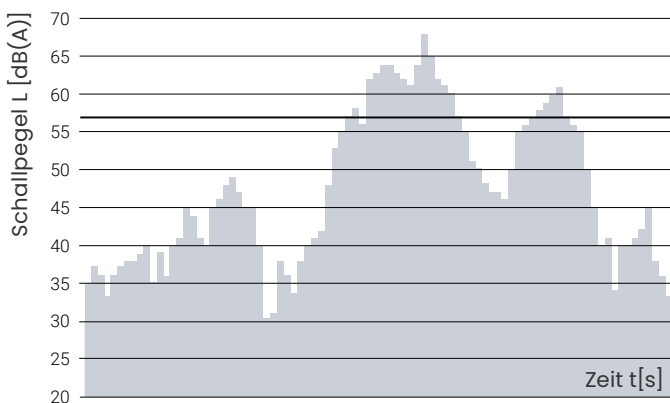


Abb. 2: Beispiel Pegel-Zeit-Diagramm und Leq

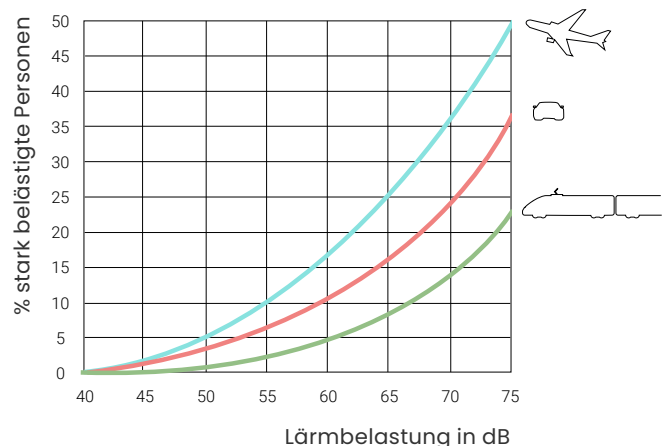
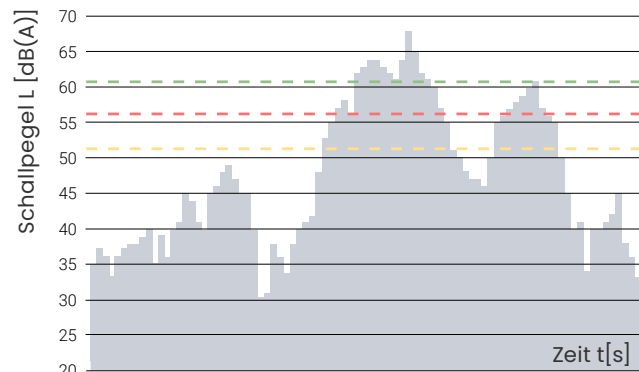


Abb. 3: Lärmbelastigung nach Verkehrsträger

WIE WIRD DER BEURTEILUNGSPEGEL L_r ERMITTELT?

In der Grafik ist mit grüner Farbe Industrie- und Gewerbelärm hinterlegt. Die allgemeine Pegelkorrektur K1 beträgt je nach Art des Lärms 0, +5 oder +10. Die Pegelkorrekturen K2 und K3 berücksichtigen die Ton- respektive Impulshaltigkeit und betragen 0 wenn keine Ton- respektive Impulshaltigkeit vorhanden ist. Bei schwacher, deutlich hörbarer resp. stark hörbarer Ton- resp. Impulshaltigkeit sind Korrekturen von je +2, +4 resp. +6 zu berücksichtigen. Ist der Lärm nicht permanent vorhanden kommt ein Pegelabzug K4 zur Anwendung. Im Beispiel ist K1 = +5 (allgemeine Korrektur), K2 = +2 (schwach hörbarer Tongehalt), K3 = 0 (nicht hörbarer Impulsgehalt) und K4 = -3 (durchschnittliche Dauer nicht 12 Stunden sondern nur 6 Stunden) hinterlegt. Der resultierende Beurteilungspegel L_r beträgt somit 61 (vgl. grün gestrichelte Linie).

In der Grafik ist mit roter Farbe Strassenverkehrslärm hinterlegt. Die Pegelkorrektur K1 beträgt in der Regel 0, bei sehr geringem Verkehr auf einer Quartierstrasse bis zu -5. Der resultierende Beurteilungspegel L_r beträgt somit im Beispiel 57 (vgl. rot gestrichelte Linie).



Beurteilungspegel L_r für Industrie-/Gewerbelärm
Beispiel: $L_{r_{I+G}} = 57 + 5 + 2 + 0 - 3 = 61 \text{ dB(A)}$

Beurteilungspegel L_r für Strassenverkehrslärm
Beispiel: $L_{r_{Strasse}} = 57 + 0 = 57 \text{ dB(A)}$

Beurteilungspegel L_r für Eisenbahnlärm
Beispiel: $L_{r_{Schiene}} = 57 - 5 = 52 \text{ dB(A)}$

In der Grafik ist mit gelber Farbe Eisenbahnlärm hinterlegt. Die Pegelkorrektur K1 beträgt in der Regel -5, bei sehr geringem Zugverkehr sogar bis zu -15. Der resultierende Beurteilungspegel L_r beträgt somit höchstens 52.

Belastungsgrenzwert

Gestützt auf die Umweltschutzgesetzgebung (Umweltschutzgesetz USG und Lärmschutz-Verordnung LSV) kommen je nach lärmtechnischer Beurteilung der Planungswert (PW), der Immissionsgrenzwert (IGW) oder der Alarmwert (AW) zur Anwendung.

Der Planungswert dient dabei zur Vorsorge, um zukünftige Lärmprobleme zu vermeiden. Ab dem Immissionsgrenzwert wird eine Lärmquelle bereits als deutlich störend wahrgenommen und ab dem Alarmwert treten langfristig Gesundheitsschäden auf.

Lärmtechnische Beurteilung

Belastungsgrenzwerte und ihre Anwendungen

PW

Ausscheidung neuer Bauzonen
Erschliessung von Bauzonen
Bewilligung neuer Anlagen

IGW

Erteilung von Baubewilligungen
Sanierung bestehender Anlagen

AW

Sanierungsdringlichkeit
Einbau von Schallschutzfenstern

Emissionen

Unter Schallemissionen versteht man den Schall, der von einer Quelle abgestrahlt wird. Sie werden in einem Emissionskataster dargestellt.

Die Emissionen eines Verkehrsträgers lassen sich im Wesentlichen anhand von Verkehrsmenge, Fahrzeugzusammensetzung, Fahrgeschwindigkeit und Fahrbahneigenschaften bestimmen. Massgebend sind die Verhältnisse im Jahresdurchschnitt. Für die meisten Emissionsabschnitte von Hauptverkehrs- und übrigen stark frequentierten Strassen sind verbindliche Daten vorhanden. Sie geben in der Regel an, wie laut die Quelle in einem Meter Abstand von der Strasse ist. Die zuständigen Fachstellen oder Eigentümer geben hierzu Auskunft. Nötigenfalls sind separate Verkehrserhebungen, Zählungen und/oder Messungen angezeigt.

Die Emissionen von Industrie- und Gewerbebetrieben oder von anderen lärmemittierenden Quellen sind individuell zu bestimmen. Hierfür sind technische Dokumentationen, allgemein gültige Emissionswerte, Erfahrungswerte oder konkrete Messungen an bestehenden Anlagen zu berücksichtigen.

Immissionen (Lärmbelastungskataster)

Mit Schallimmissionen bezeichnet man den Schall, der in der Umgebung ankommt.

Für viele Lärmarten gibt es verbindliche Immissionskataster. Die zuständigen Fachstellen oder Anlageneigentümer geben hierzu Auskunft. [Zur Liste](#) →

Die Immissionen sind gesondert je Lärmart zu bestimmen und mit den geltenden Belastungsgrenzwerten zu vergleichen.

Die Immissionen lassen sich für viele Lärmarten (ausser Fluglärm) anhand der Emissionen und der sogenannten Dämpfungen mittels anerkannten Ausbreitungsmodellen berechnen. Bei bestehenden Anlagen sind teilweise auch Messungen möglich, wobei der Aufwand hierfür meistens grösser ist. Lärmrechtlich sind Berechnungen und Messungen gleichwertig.

$$L_{\text{Immission}} = L_{\text{Emission}} - \sum \text{Dämpfungen} + \text{Reflexion}$$

Dämpfung I: Abstandsdämpfung

Mit zunehmendem Abstand zur Lärmquelle verringert sich die Lärmbelastung.

Bei einer Linienquelle (Strasse, Eisenbahnlinie) ist je Abstandverdoppelung eine Reduktion der Lärmbelastung um 3 dB(A) zu verzeichnen.

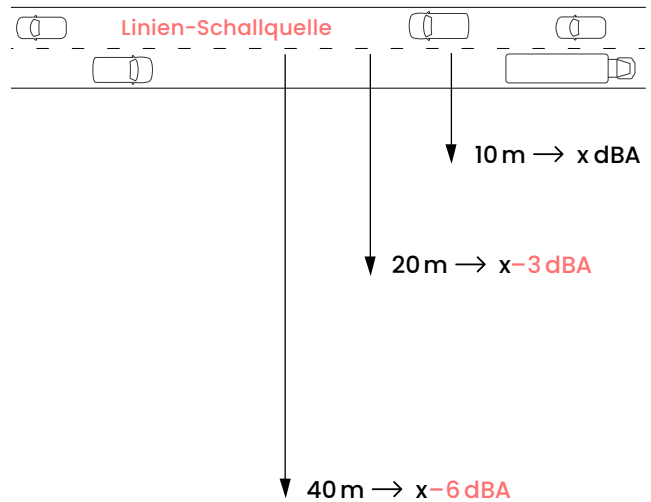


Abb. 4: Geometrische Dämpfung bei einer Strasse (Linienquelle)

Bei einer Punktquelle (Lüftungsventilator, Wärmepumpe etc.) ist je Abstandverdoppelung eine Reduktion der Lärmbelastung um 6 dB(A) zu verzeichnen.

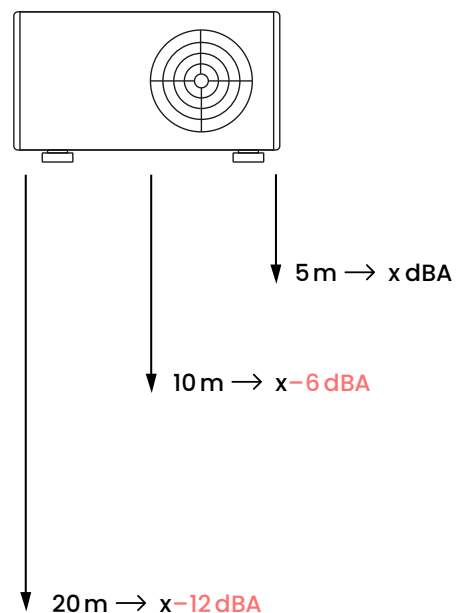


Abb. 5: Geometrische Dämpfung bei einer Wärmepumpe (Punktquelle)

Dämpfung 2: Aspektwinkelverlust

Der Aspektwinkel ($\varphi = \text{phi}$) ist jener Bereich einer Linienquelle, beispielsweise einer Strasse, der vom Empfangspunkt (EP) aus eingesehen werden kann. Je kleiner der Aspektwinkel ist, umso geringer ist die Lärmbelastung.

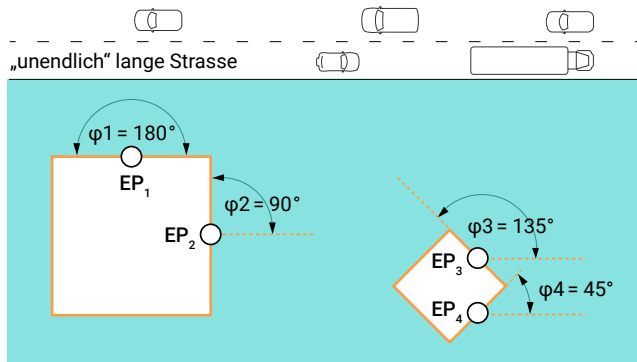


Abb. 6: Aspektwinkelverlust bei einer Strasse

Bei $\varphi = 180^\circ$ beträgt der Aspektwinkelverlust 0 dB(A), bei $\varphi = 90^\circ$ -3 dB(A), bei $\varphi = 135^\circ$ -1.3 dB(A) und bei $\varphi = 45^\circ$ -6 dB(A).

Dämpfung 3: Hinderniswirkung

Wird der Schallstrahl von der Quelle zum Empfangspunkt durch eine Hinderniskante unterbrochen, entsteht eine Hinderniswirkung. Die Wirkung ist umso besser, je grösser der Wert h ist. Um eine relevante Hinderniswirkung zu erreichen, muss das Hindernis möglichst lang sein, d.h. einen grossen Aspektwinkel abdecken.

Grundsätze bei der Planung von Hindernissen:

- Möglichst grosser Aspektwinkel
- Möglichst nah an die Quelle
- Möglichst hoher Schirmwert

- Flächengewicht mindestens 25 kg/m²
- Gewährleistung der «Schall- bzw. Luftdichtigkeit» (kein Schlüssellocheffekt)
- Oberflächengestaltung, Farbgebung, Materialisierung, Orts- und Landschaftsbild etc. beachten

Faustregeln:

- Liegt die Schallausbreitungslinie Quelle – Empfangspunkt über der Hinderniskante (es besteht eine Sichtverbindung), entsteht im Regelfall keine Hinderniswirkung.
- Tangiert die Schallausbreitungslinie Quelle – Empfangspunkt gerade die Hinderniskante, so darf eine Hinderniswirkung in der Grössenordnung von etwa 3 bis 5 dB(A) erwartet werden, sofern das Hindernis genügend lang ist.
- Wird die Schallausbreitungslinie Quelle - Empfangspunkt durch die Hinderniskante deutlich unterbrochen, kann eine Hinderniswirkung zwischen 6 bis 10 dB(A), bei besonders grossem Schirmwert und sehr grosser Länge selten mehr als 15 dB(A), erwartet werden.
- Bei Sanierungen ist eine Hinderniswirkung von mindestens 7 dB(A) anzustreben, damit die Wirkung für die Betroffenen auch langfristig spürbar ist.

Weitere Dämpfungen

Die Immissionen hängen von weiteren Dämpfungen ab, so dem Bodeneffekt, der Luftdämpfung sowie den meteorologischen Verhältnissen. Diese Einflüsse sind in der Regel bei Empfangspunkten nahe an der Quelle nicht von besonderer Bedeutung und können in der Entwurfsphase vernachlässigt werden.

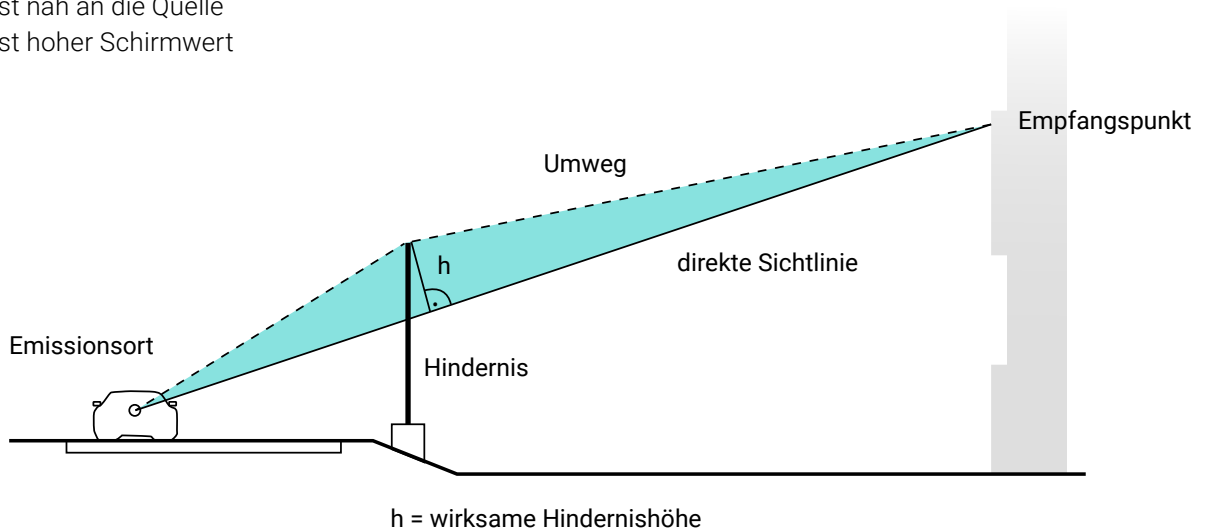


Abb. 7: Hinderniswirkung einer Lärmschutzwand

Reflexionen

Treffen Schallwellen auf eine Oberfläche, entstehen Reflexionen. Dieser Effekt wird oft überschätzt. Eine nahe an der Strasse erstellte und sehr lange Stützmauer beispielsweise führt an einem Empfangspunkt auf der gegenüberliegenden Strassenseite zu einer Schallpegelzunahme von etwa 1 bis 2 dB(A).

Eine lockere Überbauung gegenüber einem Empfangspunkt verursacht in der Regel Reflexionen in der Grössenordnung von 0.5 bis 1 dB(A).

Bedeutend sind Reflexionen, wenn der Direktschall durch ein Hindernis unterbrochen ist (also die Quelle vom Empfangspunkt aus nicht sichtbar ist), aber der reflektierte Schall über die Hinderniskante zum Empfänger gelangen kann.

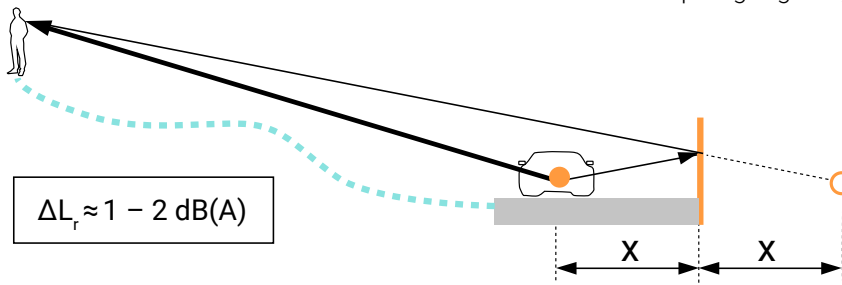


Abb. 8: Geringer Reflexionseinfluss einer schallharten Stützmauer bei ungehinderter Schallausbreitung

Ebenfalls bedeutend sind Reflexionen, wenn die reflektierende Oberfläche nicht auf der gegenüberliegenden Strassenseite liegt, sondern auf derselben Seite wie der Empfangspunkt.

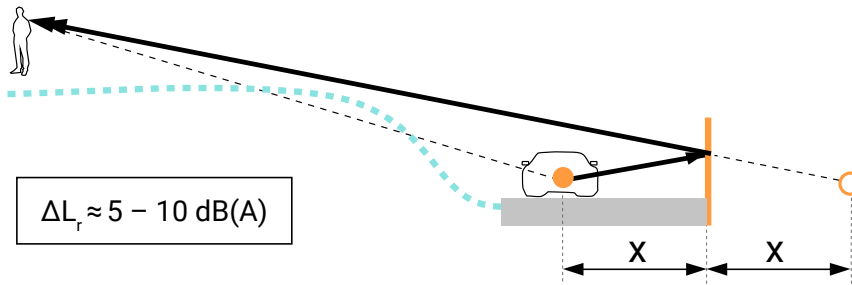


Abb. 9: Bedeutender Reflexionseinfluss einer schallharten Stützmauer bei behindertem Direktschall

Reflexionen können unter anderem mit schallabsorbierenden Materialien an Fassaden, Balkonuntersichten oder Stützmauern stark vermindert werden.



Abb. 10: Bedeutender Reflexionseinfluss an Gebäudeteilen auf derselben Seite wie der Empfangspunkt