



4. AUSZUG - SCHALLAUSBREITUNG

4. AUSZUG - SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN

4.1 Dämpfungen und Reflexionen

Oft kennt man an einem Messpunkt EP<sub>1</sub> den von einer bestimmten Quelle erzeugten Schallpegel L<sub>EP1</sub> und möchte nun wissen, wie hoch der Schallpegel L<sub>EP2</sub> am Beobachtungspunkt EP<sub>2</sub> ist.

Die Abnahme des Schallpegels zwischen dem Quellen- und Empfangspunkt (Dämpfungen) hängt im Wesentlichen von den Abstandsverhältnissen und von der geometrischen Art der sich ausbreitenden Schallwellen ab. Zudem ist zu analysieren, ob Reflexionen, die eine Pegelerhöhung verursachen können, vorhanden sind.

Neben der geometrischen Dämpfung (im Regelfall wesentlichster Dämpfungseffekt) sind weitere Dämpfungseinflüsse (insbesondere allfällig vorhandene Hindernisse, sogenannte Schallschirme) im Ausbreitungsfeld zu berücksichtigen.

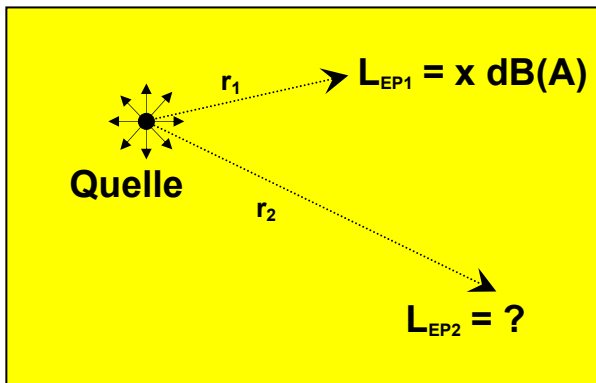


Abb. 4.1 Grundaufgabenstellung Schallausbreitung

4.2 Geometrische Dämpfung

4.2.1 Kugelwelle resp. Kugelquelle

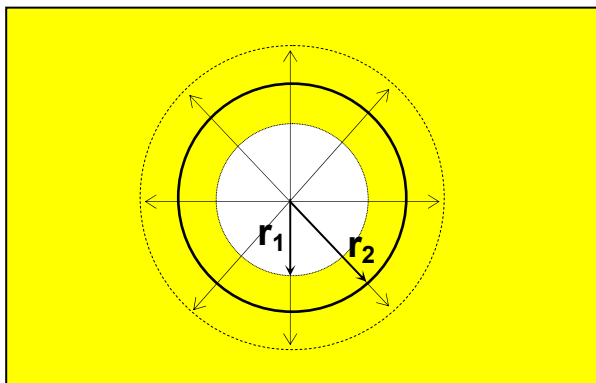


Abb. 4.2 Illustration Kugelwelle resp. Kugelquelle

$$L_2 = L_1 - 20 \cdot \log \left\{ \frac{r_2}{r_1} \right\} \text{ [dB], [dB(A)]}$$

L<sub>1</sub>: Bekannter Schallpegel im Abstand r<sub>1</sub>  
 L<sub>2</sub>: Unbekannter Schallpegel im Abstand r<sub>2</sub>  
 log: Dekadischer Logarithmus  
 (Logarithmus zur Basis 10)

Beispiele solcher Kugelquellen sind:  
 Ein Auto in 30 m Entfernung, ein Kompressor in 5 m Abstand oder ein Flugzeug in 350 m Höhe, etc.

**Bei einer Kugelwelle hat eine Abstandsverdoppelung eine Schallpegelabnahme von 6 dB, eine Abstandshalbierung eine Zunahme von 6 dB zur Folge.**

4.2.2 Zylinderwelle resp. Linienquelle

$$L_2 = L_1 - 10 \cdot \log \left\{ \frac{r_2}{r_1} \right\} \text{ [dB], [dB(A)]}$$

L<sub>1</sub>: Bekannter Schallpegel im Abstand r<sub>1</sub>  
 L<sub>2</sub>: Unbekannter Schallpegel im Abstand r<sub>2</sub>  
 log: Dekadischer Logarithmus  
 (Logarithmus zur Basis 10)

Beispiele solcher Linienquellen sind:  
 Ein 100 m langer Zug im Abstand von 10 m oder eine sehr lange, fahrende Autokolonne in einem Abstand von 20 m.

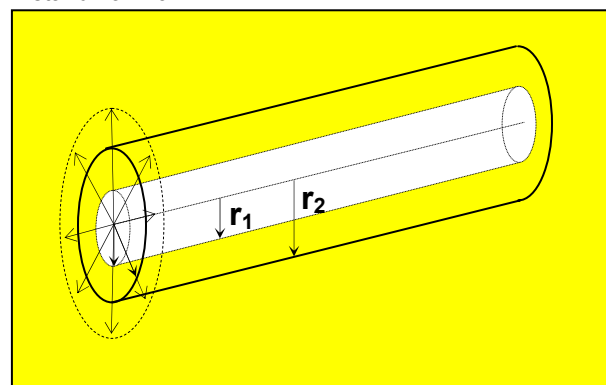


Abb. 4.3 Illustration Zylinderwelle resp. Linienquelle

**Bei einer Zylinderwelle hat eine Abstandsverdoppelung eine Schallpegelabnahme von 3 dB, eine Abstandshalbierung eine Zunahme von 3 dB zur Folge („3 dB-Regel“).**



## 4. SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN

### Wichtige Hinweise:

- Die Abnahme des Schallpegels von 6 dB bzw. 3 dB pro Abstandsverdoppelung bei Kugel- bzw. Zylinderwellen hat rein geometrischen Charakter und ist frequenzunabhängig.
- Es wird von einer Kugelwelle gesprochen, wenn die Abmessungen der Schallquelle im Verhältnis zur Mess- und Empfangspunktentfernung relativ klein sind.
  - Schallquellen, die längs einer Linie unendlich ausgedehnt sind, gibt es in der Praxis nicht. Ist der seitliche Abstand zwischen Mess- und Beobachtungspunkt klein gegenüber der Länge der Schallquelle (z. B. Eisenbahnzug, Autokolonne), so können die Schallwellen angenähert als zylinderförmig betrachtet werden. Aber bereits ab einem Abstand von ca. 1/3 ihrer Länge beginnt sich eine Linienschallquelle wie eine Punktschallquelle zu verhalten.

### 4.3 Luftdämpfung

Eine gleichmässige Schallausbreitung ist nur dann möglich, wenn diese frei und „verlustlos“ erfolgen kann. In der Praxis ist aber eine verlustlose Ausbreitung nicht anzutreffen, so dass sich zur geometrischen Schallpegelabnahme weitere, zusätzliche Dämpfungen addieren. Diese rühren von der Luft und ihrer spezifischen Eigenschaften her (Feuchtigkeit, Temperatur, Verschmutzung) sowie von den jeweilig herrschenden meteorologischen Verhältnissen (Windgeschwindigkeit, Inversionen, usw.).

#### Luftdämpfung in dB pro 100 m

(+15 °C / 75 % relative Feuchtigkeit):

f [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k
ΔL [dB]	0.01	0.03	0.07	0.16	0.38	0.85	2.0

#### Luftdämpfung in dB pro 100 m (Nebel, ca. 30 m Sicht):

f [Hz]	63	125	250	500	1k	2k	4k
ΔL [dB]	0.8	1.0	1.3	1.6	2.0	2.5	3.0

Die Schallpegelabnahmen als Folge der Luftdämpfung nehmen mit der Frequenz zu, so dass Störgeräusche umso dumpfer wahrgenommen werden, je weiter die Schallquelle vom Empfänger entfernt ist. Die eigentliche Dämpfung beruht darauf, dass ein Teil der Schallenergie in Wärme umgewandelt wird.

## 4.4 Einflüsse Meteorologie

### 4.4.1 Wind

Wind beeinflusst die Schallausbreitung sehr stark. Mitwind (Wind in Richtung der Schallausbreitung) führt zu einer „förderlichen“ Schallausbreitung (höhere Lärmbelastungen resultierend). Gegenwind (Wind entgegengesetzt zur Schallausbreitung) führt hingegen zu einer „hinderlichen“ Schallausbreitung (tiefere Lärmbelastungen resultierend). Der Einfluss des Windes wird mit zunehmender Distanz zwischen Quelle und Empfangspunkt grösser.

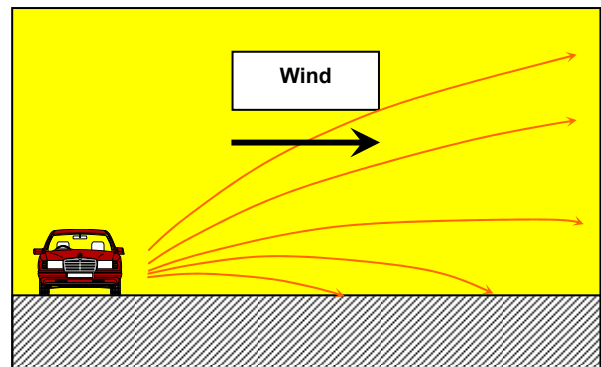


Abb. 4.4 Mitwind: Gegen unten gekrümmte Schallstrahlen („förderlich“)

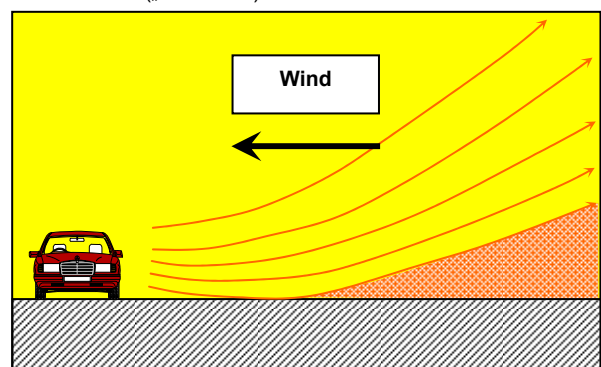


Abb. 4.5 Gegenwind: Gegen oben gekrümmte Schallstrahlen („hinderlich“)



#### 4.4.2 Inversionslagen

Inversionslagen führen - wie Mitwind - zu einer förderlichen Schallausbreitung. Eine Inversion liegt dann vor, wenn die Lufttemperatur gegen oben nicht ab- (Normalfall), sondern zunimmt. Dies trifft häufig im Herbst bis Frühjahr zu. Neuere Erfahrungen aus Langzeitlärmmessungen zeigen, dass bei grösserer Übertragungsdistanz und heiklen Beurteilungssituationen (z. B. Nachweis über die Einhaltung des Planungswertes der Empfindlichkeitsstufe II bei Industrielärm;  $L_{eq}$  bei einem Dauergeschall max. 40 dB(A)), der Einfluss der Inversion nicht vernachlässigt werden darf.

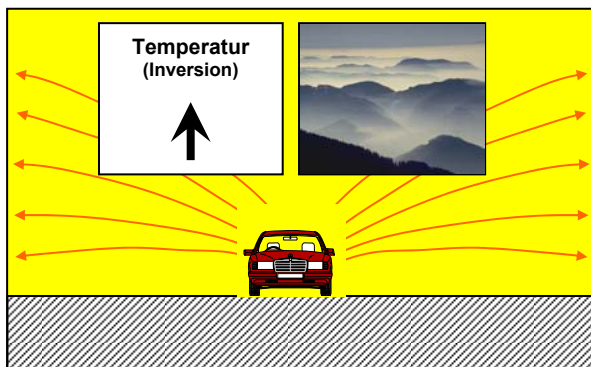


Abb. 4.6 Inversionslage: Gegen unten gekrümmte Schallstrahlen („förderlich“)

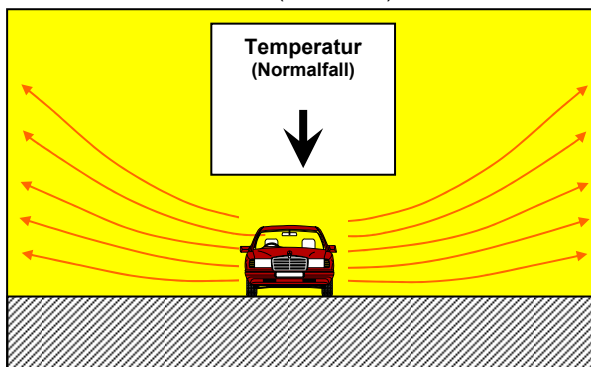


Abb. 4.7 Normale Temperaturschichtung: Gegen oben gekrümmte Schallstrahlen („hinderlich“)

#### 4.4.3 Regen

Regennasse Strassen führen ebenfalls zu einer, wenn auch geringen Pegelerhöhung. Gleichzeitig erfolgt auch eine Beeinflussung des Geräuschkennzeichens. Gemäss Untersuchungen von Dario Bozzolo, Manno (TI) im Rahmen des A2-Lärmmonitorings ist insbesondere im Frequenzbereich ab 3'000 Hz eine deutliche Zunahme der Emissionen zu verzeichnen. Der Gesamtschallpegel in dB(A) erhöht sich indes nur unwesentlich.



Abb. 4.8 Regennasse Fahrbahn (Sprühhahnenbildung)

#### 4.5 Bodeneffekt

Je nachdem, wie hoch sich die Schallstrahlen über dem Terrain ausbreiten, tritt auch eine Schallpegelabnahme bedingt durch eine Art „Bodendämpfung“ auf.

Hierbei handelt es sich aber weniger um einen Dämpfungs-, sondern mehr um einen Interferenzeinfluss, weshalb in Fachkreisen nicht von der „Bodendämpfung“, sondern von einem „Bodeneffekt“ gesprochen wird.

Wie bei der Luftdämpfung nimmt auch der Bodeneffekt mit der Frequenz zu, so dass Störgeräusche umso dumpfer wahrgenommen werden, je weiter die Schallquelle vom Empfänger entfernt ist.

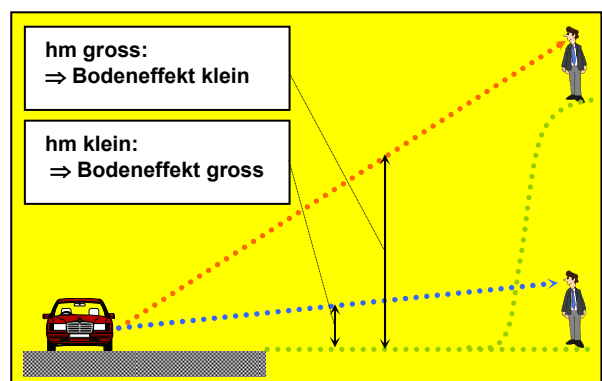


Abb. 4.9 Bodeneffekt in Funktion der mittleren Höhe des Schallstrahls über Terrain

Die quantitative Abschätzung des Bodeneffektes ist mit empirischen Formeln möglich. Diese sind allerdings nicht allgemein gültig, sondern spezifisch zur Lärmart.



## 4. SCHALLAUSBREITUNG IM FREIEN

### 4.6 Hindernisdämpfung

Die Schallausbreitung im Freien kann von Hindernissen („Schallschirme“), die durch das gewachsene Terrain vorgegeben oder künstlich konzipiert worden sind, massgebend beeinflusst werden. Die Schallenergie wird dabei zum Teil absorbiert, zum Teil von der gegen die Schallquelle zugeordneten Oberfläche des Hindernisses zurückgeworfen, d.h. reflektiert. Hindernisse, die die Schallausbreitungslinie Quelle/Empfangspunkt massgebend unterbrechen, d.h. die Schallquelle aus der Sicht des Beobachters abschirmt, können je nach Lage, Anordnung, Abmessungen und Materialisierung beträchtliche Schallpegelabnahmen (Hindernismwirkungen) bewirken.

Der schalltechnische Wirkungsgrad eines Hindernisses ist von mehreren Faktoren abhängig, u. a.

- von den geometrischen Abmessungen ( $a$ ,  $h_{\text{eff}}$ ,  $b$ , Länge des Hindernisses),
- vom Schalldämmwert des Hindernisses (luftdichte Ausbildung!),
- von den Absorptionseigenschaften der Hindernisoberfläche (entscheidend für störende Reflexionen auf die gegenüberliegende Seite),
- von den horizontalen und vertikalen Beugungen, und
- von den äusseren Einflüssen (Wind-, Temperaturverhältnisse, Inversionen).

*Hinweise:*

- Ein künstliches Hindernis, welches bereits eine gute Wirkung zeigen kann, ist eine 60 mm dicke Bretterwand oder eine "Wand" aus Eisenbahnschwellen. Die Stossfugen müssen jedoch sorgfältig abgedichtet sein, damit der gewünschte Dämpfungseffekt nicht durch den direkten Schalldurchgang erheblich herabgesetzt wird („Schlüssellocheffekt“).
- Damit eine optimale Hindernisdämpfung erreicht werden kann, ist zu beachten, dass das Hindernis ein Schalldämmvermögen  $R'_w$  von mindestens 24 dB aufweist.

Der obere Wert der Schallpegelabnahme ist jedoch begrenzt, egal wie gross das eigentliche Dämmvermögen des Hindernisses ist, weil die Schallwellen an den Kanten des Hindernisses immer eine Beugung erfahren und somit ein Teil der Schallenergie das Hindernis immer umgeht (Begrenzung in der Regel auf max. 25 dB(A)).

#### 4.6.1 Berechnung Hindernismwirkung nach Maekewa

Der Schalldämmwert eines Hindernisses kann mit dem Verfahren nach Maekewa relativ einfach berechnet werden:

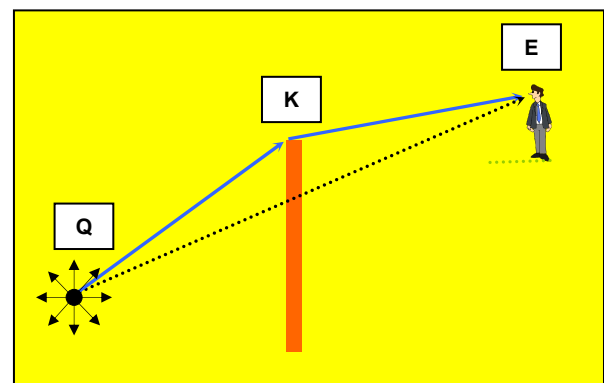


Abb. 4.10 Illustration Schirmwert  $z$  (Strecken  $QK+KE-QE$ )

$$z = \overline{QK} + \overline{KE} - \overline{QE} \quad [m]$$

$$N = \frac{z}{\lambda} \cdot 2 \quad [-]$$

$$\Delta L_H = 10 \cdot \log(3 + 20 N) \quad [dB]$$

- $z$ : Schirmwert [m]
- $\overline{QK}$ : Strecke Quelle – Hinderniskante [m]
- $\overline{KE}$ : Strecke Hinderniskante – Empfänger [m]
- $\overline{QE}$ : Strecke Quelle – Empfänger [m]
- $N$ : Fresnel'sche-Zahl [-]
- $\lambda$ : Wellenlänge [ $m$ ]<sup>Hindernis</sup>
- $\Delta L_H$ : Hindernismwirkung [dB]

Aus vorstehender Gleichung ist ersichtlich, dass die Hindernismwirkung **frequenzabhängig** ist. Für Strassenverkehr, bei dem das Geräuschspektrum gut bekannt ist, können vereinfachte Gleichungen, die die Hindernismwirkung direkt in dB(A) auseisen, verwendet werden.



4.6.2 Einfluss Schirmwert z

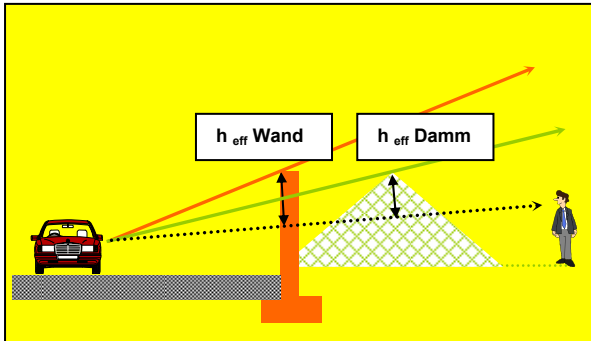


Abb. 4.11 Gegenüberstellung Lärmschutzwand / -Damm

Vergleich Wand / Damm:

Nachteilig bei Dämmen ist der Unterhalt der Begrünung, der grosse Platzbedarf sowie die hohen Gesamtkosten inkl. Landerwerb. Vorteilhaft ist der natürliche Charakter sowie die geringere Gefahr von mechanischen Schäden oder Schäden von Tau-salzeinwirkungen (keine Korrosionsschäden wie z. B. an Metallpanelen).

Eine Lärmschutzwand hat ungefähr dasselbe Dämmvermögen, wie ein natürlicher oder künstlich geschütteter Damm mit denselben charakteristischen Abmessungen (a, b, h<sub>eff</sub> und l). Es ist jedoch zu beachten, dass eine Wand meist näher bei der Schallquelle konzipiert werden kann, als ein Damm. Dadurch ist der Schirmwert eines Dammes in der Regel kleiner.

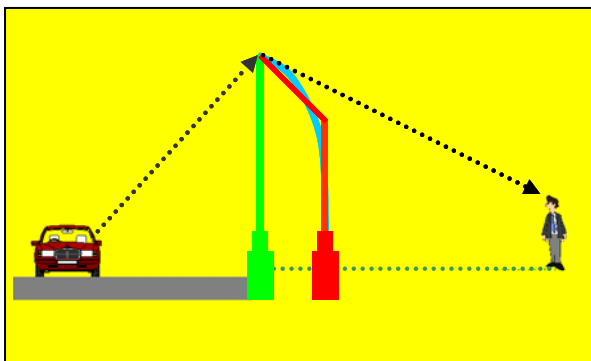


Abb. 4.12 Schalltechnisch gleichwertige Geometrien von Lärmschutzwänden

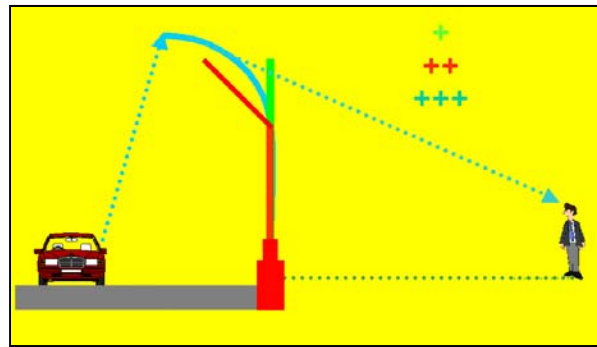


Abb. 4.13 Lärmschutzwände mit unterschiedlicher Hinderniswirkung

4.6.3 Einfluss von Länge und Höhe auf Wirkung und Kosten

Eine unvollständige seitliche Abschirmung kann die Wirkung einer hohen, kostspieligen Lärmschutzwand zunichte machen.

Letztlich ist immer ein Optimierungsprozess (Iteration) zwischen den verschiedenen Grössen notwendig. Die folgenden Beispiele zeigen dies auf eindrückliche Weise (vgl. nachfolgende Abbildungen).

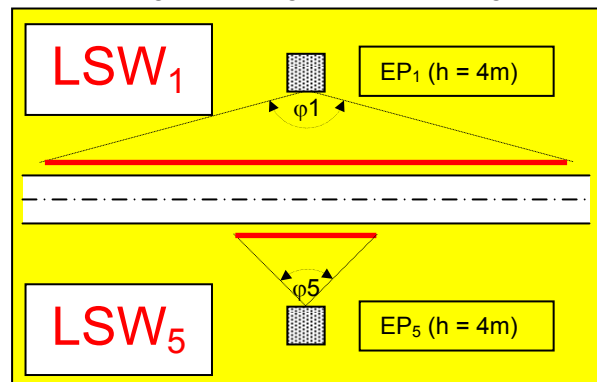


Abb. 4.14 Lärmschutzwände mit  $\varphi_1 = 150^\circ$  und  $\varphi_5 = 90^\circ$

Höhe LSW	$\varphi_1 = 150^\circ$ dB(A)	Kosten kFr.	$\varphi_2 = 135^\circ$ dB(A)	Kosten kFr.	$\varphi_3 = 120^\circ$ dB(A)	Kosten kFr.	$\varphi_4 = 105^\circ$ dB(A)	Kosten kFr.	$\varphi_5 = 90^\circ$ dB(A)	Kosten kFr.
0 m	0.0	---	0.0	---	0.0	---	0.0	---	0.0	---
2 m	-4.2	142	-3.5	92	-3.1	66	-2.5	50	-2.2	38
4 m	<b>-8.5</b>	<b>284</b>	-6.4	183	-5.3	132	-4.1	99	-3.4	76
6 m	-9.0	425	<b>-6.6</b>	<b>275</b>	-5.5	197	-4.2	149	-3.4	114
8 m	-9.1	567	-6.7	367	<b>-5.5</b>	<b>263</b>	-4.2	198	-3.3	152

Abb. 4.3 Tabelle mit Höhe, Aspektwinkel, Wirkung und Kosten verschiedener Wände



#### 4.6.5 Anforderungen an Lärmschutzsysteme

- Möglichst grosser Winkel, der die Einsicht auf die Strasse verdeckt (bestimmt die Länge des Systems).
- Möglichst hoher Schirmwert (bestimmt die Höhe des Systems).
- Optimierung von Systemlänge und -höhe anhand verschiedener Kriterien wie Kosten-/Nutzenverhältnis, konstruktive Randbedingungen, Landbedarf, Topografie, etc.
- Genügende flächenbezogene Masse (Flächengewicht mindestens  $25 \text{ kg/m}^2$ ) und damit genügendes Schalldämmvermögen  $R'_w$  des Systems.
- Gewährleistung der „Schall- bzw. Luftdichtigkeit“ bei der Ausbildung von Elementstössen und im Anschlussbereich an das Terrain (Schlüssellocheffekte vermeiden).
- Optimierte Oberflächengestaltung (Farbgebung, Materialisierung). Ein Lärmschutzsystem hat in der Regel zwei sichtbare Oberflächen, die so zu wählen sind, dass sich das System optimal ins Orts- und Landschaftsbild einfügt.
- Die quellenseitige Oberfläche ist eventuell schallabsorbierend auszubilden, um störende Reflexionen auf die gegenüberliegende Seite abzuschwächen.
- Beachtung von kommunalen und kantonalen Baugesetz-Vorschriften und anerkannten Richtlinien.

#### 4.6.6 Faustregeln (gültig für Strassenlärm)

Bei genügender Länge des Lärmschutzsystems (unbehinderte Einsicht auf die Strasse: mindestens  $120^\circ - 150^\circ$ ) gelten folgende Faustregeln:

- Liegt die Schallausbreitungslinie Quelle – Empfangspunkt deutlich über der Hinderniskante, so ist im Regelfall keine Hinderniswirkung vorhanden (Pegelreduktion nur durch Abstand, Boden- und Luftdämpfung o. a.).
- Tangiert die Schallausbreitungslinie Quelle – Empfangspunkt gerade die Hinderniskante, so darf eine Hinderniswirkung in der Größenordnung von ca. 4 bis 5 dB(A) erwartet werden.
- Wird die Schallausbreitungslinie Quelle – Empfangspunkt durch die Hinderniskante deutlich unterbrochen, so kann eine Hinderniswirkung zwischen 6 bis 10 dB(A), bei besonders grossem Schirmwert und sehr grosser Systemlänge selten mehr als 15 dB(A) erwartet werden.

- Damit für den Bewohner eine auch langfristig überzeugende Verbesserung erzielt werden kann, ist eine Hinderniswirkung von mindestens 7 dB(A) anzustreben.



Abb. 4.15 Holzlärmschutzwand, Wohnüberbauung Kapf, Emmenbrücke LU

**In der Regel gilt:  
Je näher das Lärmschutzsystem an der Quelle liegt, umso grösser ist der Schirmwert und umso grösser ist die Hinderniswirkung.**

#### 4.7 Reflexion von Schallwellen

Wenn sich eine Schallwelle in der Luft ausbreitet, kann sie Hindernissen begegnen. Je nachdem, ob die Ausdehnung des Hindernisses im Vergleich zur Wellenlänge gross oder klein ist, findet eine Reflexion oder eine Beugung statt.

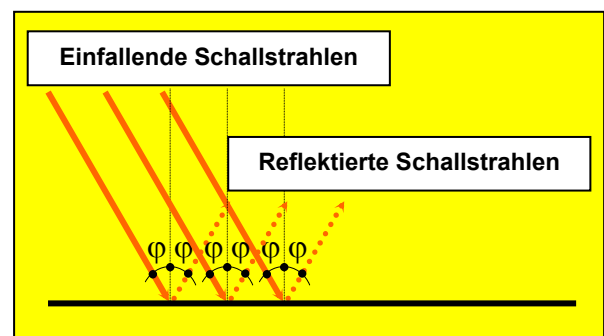


Abb. 4.16 Gesetzmässigkeit von reflektiertem Schall

Für die Reflexion gelten die gleichen Gesetze wie bei Lichtstrahlen in der geometrischen Optik, d.h. der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel und die reflektierten Schallwellen liegen in der gleichen Ebene wie die Einfallenden.



Wie in der Optik treten auch in der Akustik die Phänomene von Brennpunkt- oder Fokussierungseffekten auf und sind daher (sowohl in der Raumakustik, als auch in der Lärmbekämpfung) gebührend zu beachten und nach Möglichkeit zu vermeiden.

Je nach Situation wirkt also – sowohl in Räumen als auch in Freien – nicht nur Direktschall, sondern auch reflektierter Schall von schallharten Oberflächen (im Freien z.B. von Stützmauerflächen, von Fassaden, etc.) ein. Diese Reflexionen können den Lärm beim Betroffenen massgebend erhöhen. Im Alltag wird dieser Effekt aber oft überschätzt. Eine dem Empfangspunkt gegenüberliegende, nahe an der Strasse erstellte und sehr lange Stützmauer führt zu einer Schallpegelzunahme von maximal 3 dB(A).

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

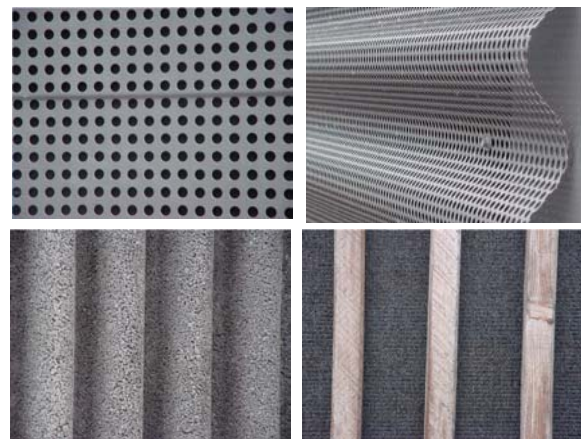


Abb. 4.19 Verschiedene Abdeckungen (ALU-Lochblech; SINUS-Lochblech; Lava-Beton und Holzlattung)



Abb. 4.20 Schallabsorbierende Steinkörbe  
Quelle: Publikation SBB-Lärmsanierung mit Steinkörben, Niklaus Buck, System Bossard + Staerke AG, 6301 Zug

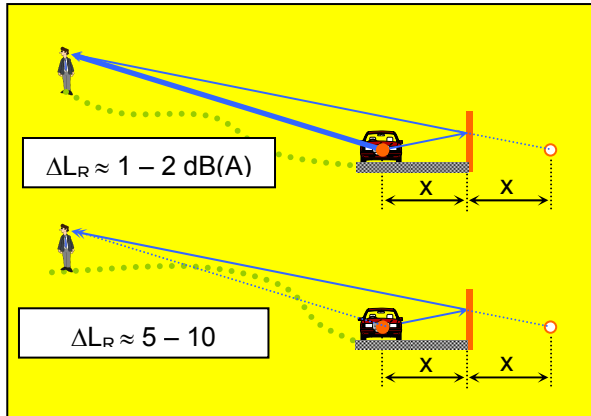


Abb. 4.17 Typische Reflexionen an schallharter Lärmschutzwand (Schnittdarstellung)

Kritisch sind vor allem Situationen, wo der Direktschall durch ein Hindernis behindert ist und Reflexionen einstrahlen können (vgl. vorstehende Abbildung).

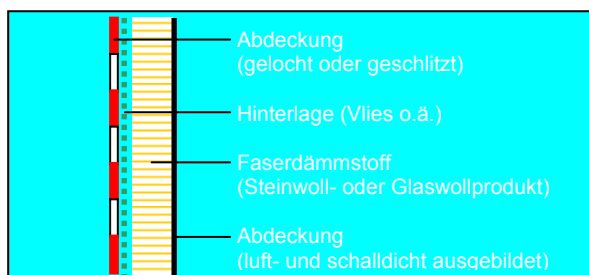


Abb. 4.18 Prinzip Absorbersystem

Das Kapitel 4 umfasst ca. 17 Seiten. Die vollständige Fassung des Scripts „Aus- und Weiterbildungskurs Lärm- und Schallschutz“ sowie Detailskizzen über die regelmässig stattfindenden Kurse können bestellt werden bei :

Werner Stalder, Listrighöhe 11, 6020 Emmenbrücke  
[werner.stalder@lu.ch](mailto:werner.stalder@lu.ch); [werner.stalder@nw.ch](mailto:werner.stalder@nw.ch)

ca. 275 Seiten:	SW-Fassung:	CHF	96.00
	Farbige Fassung:	CHF	246.00