

**Vorläufige Berechnungsmethode für den
Umgebungsärm an Straßen
VBUS**

15. Mai 2006

Inhaltsverzeichnis

1 Anwendungsbereich und Zielsetzung	5
2 Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Symbole	6
3 Berechnung des Mittelungspegels	9
3.1 Immissionspegel von mehreren Quellen	10
3.2 Mittelungspegel einer Straße	10
3.3 Mittelungspegel eines Fahrstreifens	11
3.4 Mittelungspegel eines Teilstücks	12
3.5 Emissionspegel	12
3.5.1 Mittelungspegel $L_m^{(25)}$	13
3.5.2 Geschwindigkeitskorrektur	14
3.5.3 Straßenoberfläche	15
3.5.4 Steigungen und Gefälle	15
3.6 Abstand und Luftabsorption	16
3.7 Boden- und Meteorologiedämpfung	16
3.8 Mehrfachreflexion	17
3.9 Abschirmung	18
3.10 Berücksichtigung von unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen	19
3.11 Berücksichtigung von Einfachreflexionen	20

1 Anwendungsbereich und Zielsetzung

Mit der “Vorläufigen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen (VBUS)” können die Lärmindizes L_{DEN} (Tag-Abend-Nacht-Lärmindex) und L_{Night} (Nacht-Lärmindex) der 34. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung – 34. BImSchV) für den Straßenverkehr berechnet werden, die für die Kartierung von Umgebungslärm nach § 47c des Bundes-Immissionsschutzgesetzes benötigt werden.

Die VBUS gilt nicht für Schallberechnungen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV).

Die VBUS ist angelehnt an die “Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90)”, wurde jedoch an die Erfordernisse der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/49/EG angepasst. Dies beinhaltet die ausschließliche Berücksichtigung von A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegeln ohne Beurteilungszu- oder -abschläge, die Berücksichtigung eines für die Lärmemission ausschlaggebenden und hinsichtlich der Witterungsbedingungen durchschnittlichen Jahres sowie die Lage der Ermittlungspunkte für die Immissionspegel.

Die VBUS ist bis zur verbindlichen Einführung eines harmonisierten Berechnungsverfahrens gemäß Art. 5 Abs. 1 Satz 2 der Richtlinie 2002/49/EG anzuwenden.

2 Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Symbole

In dieser Berechnungsmethode werden folgende Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Symbole verwendet:

Schallpegel, A-Schallpegel L

Unter dem Schallpegel L in Dezibel (dB) wird hier der Schalldruckpegel nach DIN 1320 verstanden. Der A-bewertete Schalldruckpegel L_A in dB bzw. L in dB(A) – auch A-Schallpegel genannt – ist ein nach DIN EN 60651 frequenzbewerteter Schallpegel. Durch die A-Bewertung wird die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs berücksichtigt.

Hier wird nur mit A-bewerteten Schallpegeln gerechnet und deshalb zur Vereinfachung am Symbol " L " der Index " A " fortgelassen.

Mittelungspegel L_m

Unter dem Mittelungspegel L_m in dB(A) (auch: energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}) wird hier der in DIN 45641 definierte zeitliche Mittelwert des A-Schallpegels verstanden:

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_m} \int_{T_m} 10^{\frac{L(t)}{10}} dt \right] \quad (1)$$

mit

T_m Mittelungszeitraum

Tag: 12 Stunden von 06.00-18.00 Uhr

Abend: 4 Stunden von 18.00-22.00 Uhr

Nacht: 8 Stunden von 22.00-06.00 Uhr

$L(t)$ Schallpegel in dB(A) zur Zeit t

Schallemission, Emissionspegel $L_{m,E}$, Emissionsort

Abstrahlung von Schall aus einer oder mehreren Schallquellen. Die Schallemission des Verkehrs auf einer Straße oder einem Fahrstreifen wird durch den Emissionspegel $L_{m,E}$ gekennzeichnet. Das ist der Mittelungspegel in 25 m Abstand von ihrer (seiner) Achse und einer Höhe von 4 m bei freier Schallausbreitung in ebenem Gelände.

Der für die Berechnung des Emissionspegels maßgebende Emissionsort (Schallquelle) ist in 0,5 m Höhe über der Mitte der Straße oder des Fahrstreifens anzunehmen.

Tabelle 1: Erläuterungen der Abkürzungen und Symbole

Zeichen	Einheit	Bedeutung
A_i	m	Für $i = 1$: Abstand ¹ des Emissionsortes von der Beugungskante des ersten Hindernisses Für $i \neq 1$: Abstand der Beugungskante des $(i - 1)$ -ten Hindernisses von der Beugungskante des i -ten Hindernisses
A'_i	m	Für $i = 1$: Abstand des Emissionsortes von dem um Δh_1 erhöhten Durchstoßpunkt des ersten Hindernisses Für $i \neq 1$: Abstand des um Δh_{i-1} erhöhten Durchstoßpunktes des $(i - 1)$ -ten Hindernisses von dem um Δh_i erhöhten Durchstoßpunkt des i -ten Hindernisses
a_i	m	Entfernung ² Emissionsort zum Hindernis i
a_R	m	Entfernung zwischen Emissionsort und einer reflektierenden Fläche
B	m	Abstand der letzten (n -ten) Beugungskante vom Immissionsort
B'	m	Abstand des Immissionsortes von dem um Δh_n erhöhten Durchstoßpunkt des letzten (n -ten) Hindernisses
b_i	m	Entfernung Hindernis i zum Immissionsort
C_0	m	meteorologische Korrektur
DTV	Kfz/24 h	Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke
Δh_i	m	Änderung der Höhe der Abschirmeinrichtung i aufgrund der parabolischen Krümmung der Schallstrahlen
D	dB(A)	Differenz der Mittelungspegel $L_{Lkw} - L_{Pkw}$
D_B	dB(A)	Pegeländerung durch topographische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen
D_{BM}	dB(A)	Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung
D_E	dB(A)	Korrektur zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektierenden Flächen
D_l	dB(A)	Korrektur zur Berücksichtigung der Teilstücklänge
D_{met}	dB(A)	meteorologische Korrektur für unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen
D_{refl}	dB(A)	Pegelerhöhung durch Mehrfachreflexion
D_s	dB(A)	Pegeländerung durch unterschiedliche Abstände
D_{Stg}	dB(A)	Korrektur für Steigungen und Gefälle
D_{StrO}	dB(A)	Korrektur für unterschiedliche Straßenoberflächen
D_v	dB(A)	Korrektur für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten
D_z	dB(A)	Abschirmmaß eines Lärmschirmes
F	m ²	Fläche zwischen Schallstrahl und Boden
g	%	Längsneigung
γ	m	Parabolische Krümmung
h_{Beb}	m	mittlere Höhe von baulichen Anlagen
$h_{D,i}$	m	Höhe des Durchstoßpunktes des i -ten Hindernisses, bezogen auf die Straßenoberfläche
h_{GE}	m	Höhe des Emissionsortes über Grund ($\hat{=}$ Straßenoberfläche)
h_{GI}	m	Höhe des Immissionsortes über Grund
h_i	m	Höhe des i -ten Hindernisses, bezogen auf die Straßenoberfläche
h_m	m	mittlerer Abstand zwischen dem Grund und der Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort
h_R	m	Höhe einer reflektierenden Fläche
h_{SI}	m	Höhe des Immissionsortes, bezogen auf die Straßenoberfläche

¹Dreidimensionaler Abstand zweier Punkte im Raum

²Projektion des dreidimensionalen Abstands auf die horizontale Ebene.

i	–	Index des Hindernisses, beginnend an der Straße
$L(t)$	dB(A)	Schallpegel zur Zeit t
L_m	dB(A)	$L(t)$
L_{Day}	dB(A)	Mittelungspegel für die Zeit von 06.00 bis 18.00 Uhr
L_{DEN}	dB(A)	Tag-Abend-Nacht-Index (day-evening-night)
$L_{Evening}$	dB(A)	Mittelungspegel für die Zeit von 18.00 bis 22.00 Uhr
$L_m^{(25)}$	dB(A)	Mittelungspegel für Standardbedingungen (s. Abschnitt 3.5.1)
$L_{m,n}$	dB(A)	Mittelungspegel des nahen äußeren Fahrstreifens
$L_{m,f}$	dB(A)	Mittelungspegel des fernen äußeren Fahrstreifens
$L_{m,i}$	dB(A)	Mittelungspegel für ein Teilstück
$L_{m,E}$	dB(A)	Emissionspegel
L_{Night}	dB(A)	Mittelungspegel für die Zeit von 22.00 bis 06.00 Uhr
L_{Pkw}	dB(A)	Mittelungspegel für 1 Pkw/h
L_{Lkw}	dB(A)	Mittelungspegel für 1 Lkw/h
l	m	Abschnittslänge
M	Kfz/h	maßgebende stündliche Verkehrsstärke
N	–	Anzahl der Hindernisse
p	%	maßgebender Lkw-Anteil (über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht)
s	m	Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort
s_0	m	Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort
T_m	h	Mittelungszeitraum
v_{Lkw}	km/h	zulässige Höchstgeschwindigkeit für Lkw
v_{Pkw}	km/h	zulässige Höchstgeschwindigkeit für Pkw
w	m	Abstand der reflektierenden Flächen voneinander
z	m	Schirmwert

Schallimmission, Immissionsort

Einwirken von Schall auf ein Gebiet oder einen Punkt eines Gebietes, den Immissionsort. Die Stärke der Schallimmission wird durch den Mittelungspegel gekennzeichnet.

Die Höhe des Immissionsortes zur Ermittlung von L_{DEN} ist im Fall von Berechnungen zur Ausarbeitung von Lärmkarten für die Lärmbelastung in Gebäuden und in der Nähe von Gebäuden auf $4,0 \pm 0,2$ m (3,8 - 4,2 m) über dem Boden festgelegt.

3 Berechnung des Mittelungspegels

Die Stärke der Schallemission von einer Straße oder einem Fahrstreifen (beschrieben durch den Emissionspegel $L_{m,E}$) wird nach dieser Berechnungsmethode aus der Verkehrsstärke, dem Lkw-Anteil, der zulässigen Höchstgeschwindigkeit, der Art der Straßenoberfläche und der Gradienten (Längsneigung) berechnet.

Die Höhe des Schallpegels an einem Immissionsort hängt außerdem noch vom Abstand zwischen Immissions- und Emissionsort (Schallquelle) und von der mittleren Höhe des Strahls von der Quelle zum Immissionsort über dem Boden ab. Sie kann außerdem durch Reflexionen (z. B. an Hausfronten oder Stützmauern) verstärkt oder durch Abschirmung (z. B. durch Lärmschutzwände, Wälle, Gebäude, Geländeerhebungen oder durch Tieflage der Straße) verringert werden.

Der Einfluss der Straßennässe wird nicht berücksichtigt.

Zum Vergleich mit Immissionsgrenzwerten dient der Mittelungspegel L_m .

Der Mittelungspegel von Verkehrsgläuschen wird getrennt für Tag, Abend und Nacht berechnet:

- L_{Day} für die Zeit von 6.00 bis 18.00 Uhr,
- L_{Evening} für die Zeit von 18.00 bis 22.00 Uhr und
- L_{Night} für die Zeit von 22.00 bis 6.00 Uhr.

Der Berechnung werden über alle Tage des Jahres gemittelte durchschnittliche tägliche Verkehrsstärken (DTV) und Lkw-Anteile p zugrunde gelegt.

Unterschiede in den meteorologischen Ausbreitungsbedingungen am Tag, abends und in der Nacht werden mit einer zusätzlichen Korrektur D_{met} berücksichtigt.

Tag-Abend-Nacht-Index L_{DEN}

Der Tag-Abend-Nacht-Index (Day-Evening-Night) L_{DEN} in Dezibel (dB) ist wie folgt definiert:

$$L_{\text{DEN}} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Day}}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Evening}}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{\text{Night}}+10}{10}} \right) \quad (2)$$

Hierbei gilt:

- L_{Day} ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2: 1987, wobei der Mittelungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen an allen Kalendertagen am Tag erfolgen;
- L_{Evening} ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2: 1987, wobei der Mittelungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen an allen Kalendertagen am Abend erfolgen;
- L_{Night} ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2: 1987, wobei der Mittelungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen an allen Kalendertagen in der Nacht erfolgen.

Ein Jahr ist das für die Lärmemission ausschlaggebende und ein hinsichtlich der Witterungsbedingungen durchschnittliches Jahr.

Ein Vergleich von Messwerten mit den nach dieser Berechnungsmethode berechneten Werten ist nicht ohne weiteres möglich.

In allen Gleichungen in dieser Berechnungsmethode sind Längen in m, Geschwindigkeiten in km/h, Pegel und Pegeldifferenzen in dB(A) einzusetzen.

Mittelungspegel und Lärmindizes sind auf 0,1 dB(A) zu runden.

3.1 Immissionspegel von mehreren Quellen

Befindet sich ein Immissionsort im Einwirkungsbereich von mehr als einer Quelle, so sind für alle Quellen j (auch Spiegelschallquellen - siehe Abschnitt 3.11) die Mittelungspegel $L_{m,j}$ zu berechnen und daraus der Gesamtmittelungspegel nach der Gleichung

$$L_m = 10 \cdot \lg \sum_j 10^{\frac{L_{m,j}}{10}} \quad (3)$$

zu bestimmen.

3.2 Mittelungspegel einer Straße

Zur Berechnung des Mittelungspegels einer mehrstreifigen Straße wird je eine Schallquelle in 0,5 m Höhe über den Mitten der beiden äußeren Fahrstreifen angenommen (Abbildung 1). Für diese werden die Mittelungspegel getrennt berechnet und energetisch zum Mittelungspegel L_m an der Straße

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[10^{\frac{L_{m,n}}{10}} + 10^{\frac{L_{m,f}}{10}} \right] \quad (4)$$

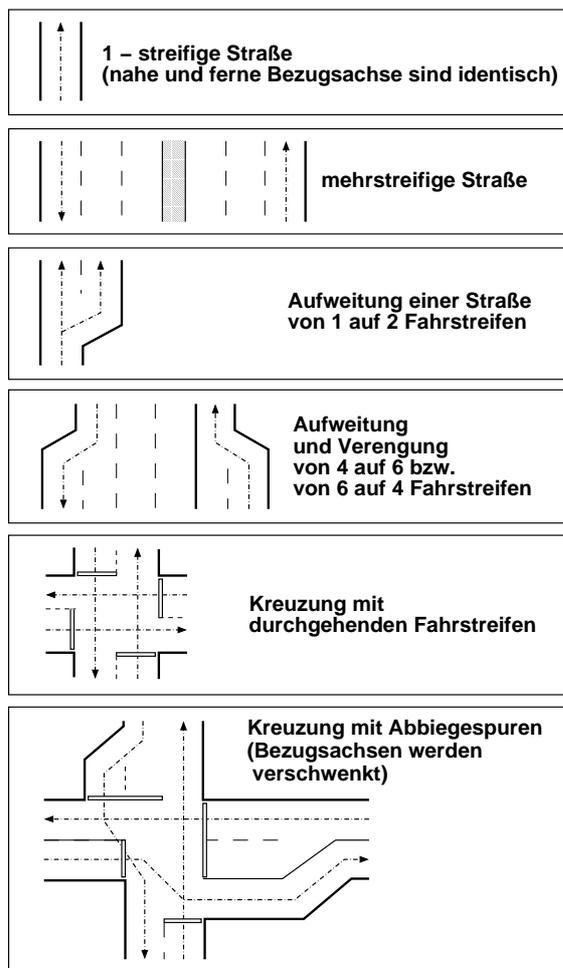


Abbildung 1: Fahrstreifen für die Berechnung des Mittelungspegels

zusammengefasst, mit

- $L_{m,n}$ Mittelungspegel des nahen äußeren Fahrstreifens
- $L_{m,f}$ Mittelungspegel des fernen äußeren Fahrstreifens.

Bei einstreifigen Straßen fallen ferner und naher Fahrstreifen zusammen.

3.3 Mittelungspegel eines Fahrstreifens

Zur Berechnung des Mittelungspegels L_m eines Fahrstreifens wird dieser in annähernd gerade Teilstücke i unterteilt. Die Teilstücke sind so zu wählen, dass über die Länge jedes einzelnen die Emission und die Ausbreitungsbedingungen annähernd konstant sind. Der Emissionsort wird in der Mitte des Teilstücks in 0,5 m Höhe über dem Fahrstreifen angenommen. Die Länge l_i eines Teilstückes darf höchstens $0,5 \cdot s_i$ sein, wobei s der Abstand des Immissionsortes vom Emissionsort ist. Für jedes Teilstück i ist der Mittelungspegel

$L_{m,i}$ getrennt nach Abschnitt 3.4 zu berechnen. Diese Pegel sind energetisch zum Mittelungspegel zusammenzufassen:

$$L_m = 10 \cdot \lg \sum_i 10^{\frac{L_{m,i}}{10}} \quad (5)$$

3.4 Mittelungspegel eines Teilstücks

Der Mittelungspegel $L_{m,i}$ eines Teilstücks ist

$$L_{m,i} = L_{m,E} + D_l - D_s - \max[D_{BM}, D_z] + D_{refl} + D_{met} \quad (6)$$

mit

$L_{m,E}$	Emissionspegel nach Abschnitt 3.5 für das Teilstück
D_l	Korrektur zur Berücksichtigung der Teilstück-Länge: $D_l = 10 \cdot \lg(l)$
D_s	Pegeländerung nach Abschnitt 3.6 zur Berücksichtigung des Abstandes und der Luftabsorption
D_{BM}	Pegeländerung nach Abschnitt 3.7 zur Berücksichtigung der Boden- und Meteorologiedämpfung
D_z	Abschirmmaß nach 3.9
D_{refl}	Pegelerhöhung nach Abschnitt 3.8 durch Mehrfachreflexion bei Fahrstreifen zwischen parallelen Wänden (Straßenschluchten, Troglagen)
D_{met}	Pegeländerung nach Abschnitt 3.10 durch Anpassung der Witterungsbedingung von leichtem Wind-(etwa 3 m/s) von der Straße zum Immissionsort und/oder Temperaturinversion auf Langzeitmittelung.

3.5 Emissionspegel

Der Emissionspegel ist

$$L_{m,E} = L_m^{(25)} + D_v + D_{StrO} + D_{Stg} + D_E \quad (7)$$

mit

$L_m^{(25)}$	Mittelungspegel nach Abschnitt 3.5.1
D_v	Korrektur nach Abschnitt 3.5.2 für unterschiedliche zulässige Höchstgeschwindigkeiten
D_{StrO}	Korrektur nach Abschnitt 3.5.3 für unterschiedliche Straßenoberflächen
D_{Stg}	Zuschlag nach Abschnitt 3.5.4 für Steigungen und Gefälle
D_E	Korrektur nach Abschnitt 3.11 (nur bei Spiegelschallquellen).

3.5.1 Mittelungspegel $L_m^{(25)}$

Der Mittelungspegel $L_m^{(25)}$ gilt für folgende Randbedingungen:

- horizontaler Abstand: 25 m
- Straßenoberfläche: nicht geriffelter Gussasphalt
- zulässige Höchstgeschwindigkeit: 100 km/h
- Gradiente: Steigung oder Gefälle ≤ 5 %
- Schallausbreitung: freie Schallausbreitung mit $h_m = 2,25$ m, entsprechend einer Höhe des Immissionsortes von 4 m (siehe Abschnitte 3.6 und 3.7)

Der Mittelungspegel $L_m^{(25)}$ ist

$$L_m^{(25)} = 37,3 + 10 \cdot \lg [M \cdot (1 + 0,082 \cdot p)] \quad (8)$$

mit

M maßgebende stündliche Verkehrsstärke nach Tabelle 2 für einstreifige Straßen. Bei mehrstreifigen Straßen ist M zu gleichen Teilen auf die beiden äußeren Fahrstreifen aufzuteilen

p maßgebender Lkw-Anteil in % nach Tabelle 2 (Lkw mit einem zulässigen Gesamtgewicht über 3,5 t).

Auf die Anwendung der Tabelle 2 ist zu verzichten, wenn geeignete projektbezogene Untersuchungsergebnisse vorliegen, die zur Ermittlung

- der stündlichen Verkehrsstärke M (in Kfz/h) und
- des mittleren Lkw-Anteils p (über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) in % am Gesamtverkehr

für die Zeiträume zwischen 6.00 - 18.00 Uhr, 18.00 - 22.00 Uhr bzw. 22.00 - 6.00 Uhr als Mittelwert für alle Tage des Jahres herangezogen werden können.

Tabelle 2: Maßgebende Verkehrsstärke M in Kfz/h und maßgebende Lkw-Anteile p (über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) in %

	Straßengattung	tags (6.00-18.00 Uhr)		abends (18.00-22.00 Uhr)		nachts (22.00-6.00 Uhr)	
		M [Kfz/h]	p [%]	M [Kfz/h]	p [%]	M [Kfz/h]	p [%]
	1	2	3	4	5	6	7
1	Bundesautobahnen	0,062·DTV	25	0,042·DTV	35	0,014·DTV	45
2	Bundesstraßen	0,062·DTV	20	0,042·DTV	20	0,011·DTV	20
3	Landes-, Kreis-, und Gemeindeverbin- dungsstraßen	0,062·DTV	20	0,042·DTV	15	0,008·DTV	10
4	Gemeindestraßen	0,062·DTV	10	0,042·DTV	6,5	0,011·DTV	3

3.5.2 Geschwindigkeitskorrektur

Durch die Korrektur D_v werden von 100 km/h abweichende zulässige Höchstgeschwindigkeiten berücksichtigt:

$$D_v = L_{Pkw} - 37,3 + 10 \cdot \lg \left[\frac{100 + \left(10^{\frac{D}{10}} - 1\right) \cdot p}{100 + 8,23 \cdot p} \right] \quad (9)$$

$$L_{Pkw} = 27,7 + 10 \cdot \lg \left[1 + (0,02 \cdot v_{Pkw})^3 \right]$$

$$L_{Lkw} = 23,1 + 12,5 \cdot \lg (v_{Lkw})$$

$$D = L_{Lkw} - L_{Pkw}$$

mit

- v_{Pkw} zulässige Höchstgeschwindigkeit für Pkw, jedoch mindestens 30 km/h und höchstens 130 km/h,
- v_{Lkw} zulässige Höchstgeschwindigkeit für Lkw, jedoch mindestens 30 km/h und höchstens 80 km/h,
- L_{Pkw}, L_{Lkw} Mittelungspegel für 1 Pkw/h bzw. 1 Lkw/h.

3.5.3 Straßenoberfläche

Die Korrektur D_{StrO} für unterschiedliche Straßenoberflächen erfolgt nach Tabelle 3.

Tabelle 3: Korrektur D_{StrO} für unterschiedliche Straßenoberflächen

	Straßenoberfläche	D_{StrO}^*) in dB(A) bei zulässiger Höchstgeschwindigkeit von			
		30 km/h	40 km/h	≥ 50 km/h	> 60 km/h
	1	2	3	4	
1	nicht geriffelte Gussasphalte, Asphaltbetone oder Splittmastixasphalte	0,0	0,0	0,0	
2	Betone oder geriffelte Gussasphalte	1,0	1,5	2,0	
3	Pflaster mit ebener Oberfläche	2,0	2,5	3,0	
4	Sonstiges Pflaster	3,0	4,5	6,0	
5	Betone nach ZTV Beton 78 mit Stahlbesenstrich mit Längsglätter				1,0
6	Betone nach ZTV Beton-StB 01 mit Waschbetonoberfläche sowie mit Jutetuch-Längstexturierung				-2,0
7	Asphaltbetone $< 0/11$ und Splittmastixasphalte $0/8$ und $0/11$ ohne Absplittung				-2,0
8	Offenporige Asphaltdeckschichten, die im Neubau einen Hohlraumgehalt $> 15\%$ aufweisen				
	- mit Kornaufbau $0/11$				-4,0
	- mit Kornaufbau $0/8$				-5,0

*) Für lärmindernde Straßenoberflächen, bei denen aufgrund neuer bautechnischer Entwicklungen eine dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, können auch andere Korrekturwerte D_{StrO} berücksichtigt werden.

3.5.4 Steigungen und Gefälle

Steigungen und Gefälle werden durch

$$D_{Stg} = 0,6 \cdot |g| - 3 \quad \text{für } |g| > 5\%$$

$$D_{Stg} = 0 \quad \text{für } |g| \leq 5\%$$

berücksichtigt, mit

g Längsneigung des Fahrstreifens in %.

3.6 Abstand und Luftabsorption

Der Einfluss des Abstandes und der Luftabsorption wird berücksichtigt durch

$$D_s = 20 \cdot \lg(s) + s/200 - 11,2 \quad (10)$$

mit

s Abstand zwischen Immissions- und Emissionsort.

3.7 Boden- und Meteorologiedämpfung

Die Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung bei freier Schallausbreitung ist

$$D_{BM} = 4,8 - (h_m/s) \cdot (34 + 600/s) \geq 0. \quad (11)$$

Der mittlere Abstand zwischen dem Grund und der Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort h_m wird bestimmt aus dem Quotienten vom Flächenintegral F und dem Laufweg zwischen Emissionsort und Immissionsort (s. Abbildung 2).

$$h_m = \frac{F}{s} \quad (12)$$

mit

h_m mittlerer Abstand zwischen dem Grund und der Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort

s Laufweg zwischen Emissionsort und Immissionsort

F Fläche zwischen Laufweg und Boden

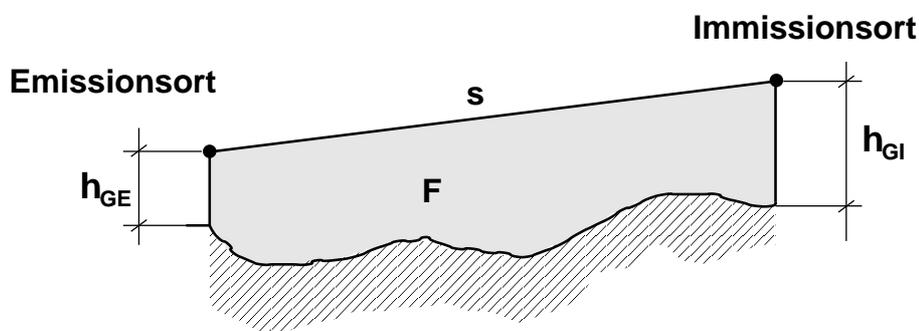


Abbildung 2: Mittlere Höhe h_m

3.8 Mehrfachreflexion

Verläuft ein Teilstück zwischen parallelen, reflektierenden Stützmauern, Lärmschutzwänden oder geschlossenen Hausfassaden (Lückenanteil < 30%), erhöht sich der Mittelungspegel zusätzlich zur ersten Reflexion nach Abschnitt 3.11 (Abbildung 3) um

$$D_{refl} = 4 \cdot h_{Beb}/w \leq 3,2 \quad (13)$$

mit

h_{Beb} mittlere Höhe der Stützmauern, Lärmschutzwände oder Hausfassaden. Sind diese nicht auf beiden Straßenseiten gleich hoch, ist die mittlere Höhe der niedrigeren Flächen anzusetzen.

w Abstand der reflektierenden Flächen voneinander.

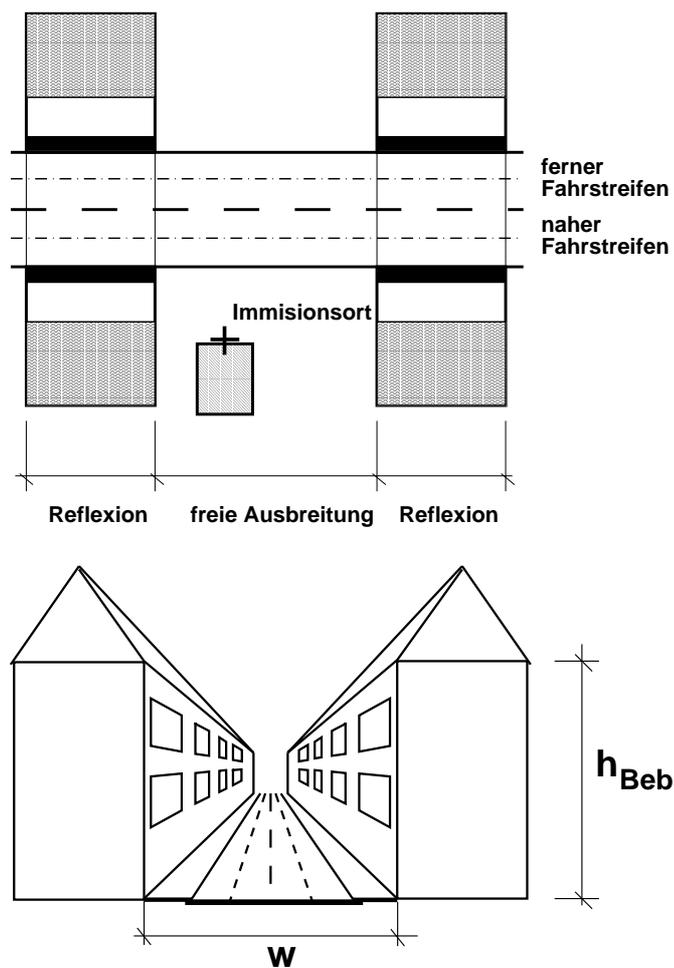


Abbildung 3: Erläuterung zur Pegelerhöhung durch Mehrfachreflexion

Sind die Lärmschutzwände oder Stützmauern absorbierend (siehe ZTV-LSW 88¹), ist

$$D_{refl} = 2 \cdot h_{Beb}/w \leq 1,6 \quad (14)$$

Bei hochabsorbierenden Lärmschutzwänden (siehe ZTV-LSW 88) wird die Mehrfachreflexion vernachlässigt.

3.9 Abschirmung

Eine Pegelminderung durch Abschirmung tritt erst dann ein, wenn die Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort mindestens tangiert wird. Der Effekt der Strahlenkrümmung wird durch eine Verlagerung der Beugungskante um Δh berücksichtigt (s. Abbildung 4).

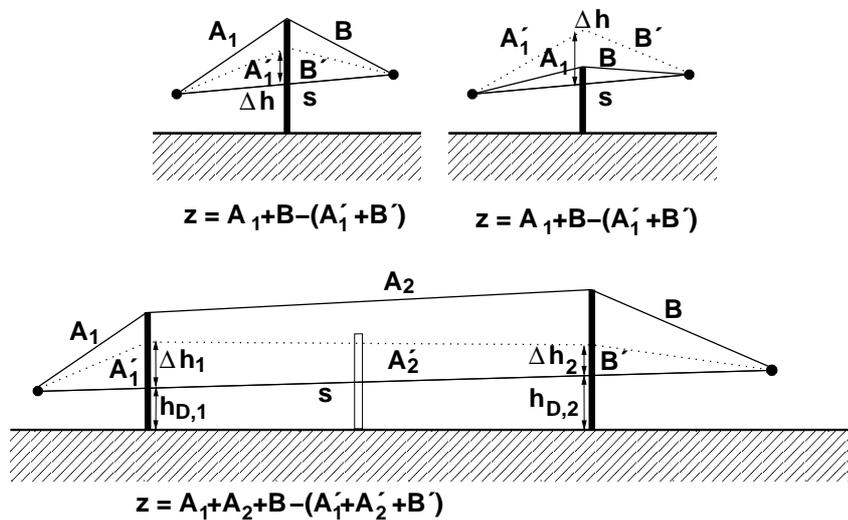


Abbildung 4: Erläuterung der Abschirmung

$$D_z = \begin{cases} 10 \cdot \lg[3 + 60 \cdot z] & \text{für } z > -\frac{1}{30} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases} \quad (15)$$

$$z = \sum_i A_i + B - \left(\sum_i A_i' + B' \right) \quad (16)$$

$$h_{D,i} = h_{GE} + \frac{a_i}{s_0} (h_{SI} - h_{GE}) \quad (17)$$

$$\Delta h_i = \frac{a_i \cdot b_i}{2 \cdot \gamma} \cdot \left(\frac{s}{s_0} \right)^2 \quad (18)$$

$$\gamma = \begin{cases} 1000 & \text{für } s \leq 125 \text{ m} \\ 8 \cdot s & \text{für } s > 125 \text{ m} \end{cases} \quad (19)$$

¹Zusätzliche Technische Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen, Allgemeines Rundschreiben Straßenbau Nr. 8/1988, 18.3.1988

mit

i	Index des Hindernisses $i = 1 \dots n$, beginnend an der Straße
a_i	Entfernung Emissionsort zum Hindernis i
b_i	Entfernung Hindernis i zum Immissionsort
A_i	Für $i = 1$: Abstand des Emissionsortes von der Beugungskante des ersten Hindernisses Für $i \neq 1$: Abstand der Beugungskante des $(i - 1)$ -ten Hindernisses von der Beugungskante des i -ten Hindernisses
A'_i	Für $i = 1$: Abstand des Emissionsortes von dem um Δh_1 erhöhten Durchstoßpunkt des ersten Hindernisses Für $i \neq 1$: Abstand des um Δh_{i-1} erhöhten Durchstoßpunktes des $(i - 1)$ -ten Hindernisses von dem um Δh_i erhöhten Durchstoßpunkt des i -ten Hindernisses
B	Abstand der letzten (n -ten) Beugungskante vom Immissionsort
B'	Abstand des Immissionsortes von dem um Δh_n erhöhten Durchstoßpunkt des letzten (n -ten) Hindernisses
Δh_i	Änderung der Höhe der Abschirmeinrichtung i aufgrund der parabolischen Krümmung der Schallstrahlen
γ	Parabolische Krümmung
h_i	Höhe des Hindernisses, bezogen auf die Straßenoberfläche
$h_{D,i}$	Höhe des Durchstoßpunktes des Hindernisses, bezogen auf die Straßenoberfläche
h_{SI}	Höhe des Immissionsortes, bezogen auf die Straßenoberfläche
s	Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort
s_0	Entfernung zwischen Emissions- und Immissionsort
z	Schirmwert (siehe Abbildung 4)

Befinden sich mehrere Hindernisse zwischen Emissions- und Immissionsort, so kann Mehrfachbeugung auftreten (siehe Abbildung 4 unten). Zu berücksichtigen ist die Abschirmwirkung jener Hindernisse, die von einem Gummiband berührt werden, das vom Emissionsort zum Immissionsort über die Hindernisse gespannt wird.

Innerhalb des Teilstückes darf sich die Höhe der Beugungskante über der Achse des Fahrstreifens um nicht mehr als 0,2 m und die senkrechte Entfernung der Beugungskante von der Fahrstreifenmitte um nicht mehr als 0,5 m ändern. Andernfalls ist das Teilstück weiter zu unterteilen.

3.10 Berücksichtigung von unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen

Je nach Tageszeit herrschen unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen des Schalls in der Atmosphäre vor. Die Pegeländerung ist

$$D_{met} = \begin{cases} 0 & \text{für } s_0 \leq 10 \cdot (h_{GE} + h_{GI}) \\ -C_0 \cdot [1 - 10 \cdot (h_{GE} + h_{GI}) / s_0] & \text{für } s_0 > 10 \cdot (h_{GE} + h_{GI}) \end{cases} \quad (20)$$

mit der in Tabelle 6 angegebenen meteorologischen Korrektur.

	Meteorologische Korrektur	C_0 [dB(A)]
	1	2
1	Tag	2,0
2	Abend	1,0
3	Nacht	0,0

Tabelle 6: Meteorologische Korrektur

3.11 Berücksichtigung von Einfachreflexionen

Trifft Schall auf Stützmauern, Hausfassaden oder andere Flächen, wird er reflektiert. Dadurch kann sich der Mittelungspegel an einem Immissionsort erhöhen. Reflexionen sind zu berücksichtigen, wenn die Höhe h_R der reflektierenden Fläche der Bedingung $h_R \geq 0,3 \cdot \sqrt{a_R}$ genügt, wobei a_R die Entfernung zwischen Quelle und Reflektor ist.

Zur Berücksichtigung der Reflexion wird die Straße (Originalschallquelle) an der reflektierenden Fläche gespiegelt. Vom Immissionsort aus gesehen scheint sich hinter der reflektierenden Wandfläche eine zusätzliche Schallquelle (Spiegelschallquelle) zu befinden (Abbildung 5, Fall a). Es ist zu beachten, dass von der Spiegelschallquelle nur das Teilstück wirksam ist, von dem aus die "Schallstrahlen" zum Immissionsort durch die reflektierende Fläche hindurch verlaufen (Strahlen 1 und 2 in Abbildung 5, Fall b). Diese Bedingung ist z. B. für den Strahl 3 in Abbildung 5, Fall b nicht erfüllt.

Diffus reflektierter Schall wird vernachlässigt.

Abbildung 6 enthält Beispiele zur Konstruktion von Spiegelschallquellen. In Abbildung 6 a wird ein kurzes Straßenstück an einem längeren Reflektor gespiegelt. In Abbildung 6 b und c werden lange Straßen an einem kurzen Reflektor gespiegelt. Von der Originalstraße ist jeweils das Straßenstück gekennzeichnet (Originalschallquelle), dem eine für den Immissionsort wirksame Spiegelschallquelle entspricht.

Bei der Berechnung des Mittelungspegels sind Spiegelschallquellen wie Originalschallquellen zu behandeln. Da aber bei der Reflexion Energieverluste auftreten, wird bei den Spiegelschallquellen mit einem durch den Summanden D_E (siehe Gleichung 7 und Tabelle 7) korrigierten Emissionspegel gerechnet.

Tabelle 7: Korrektur zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektierenden Flächen (nur bei Spiegelschallquellen)

	Reflexionsart	D_E [dB(A)]
	1	2
1	glatte Gebäudefassaden und reflektierende Lärmschutzwände	-1
2	gegliederte Hausfassaden (z.B. Fassaden mit Erkern, Balkonen etc.)	-2
3	absorbierende Lärmschutzwände	-4
4	hochabsorbierende Lärmschutzwände	-8

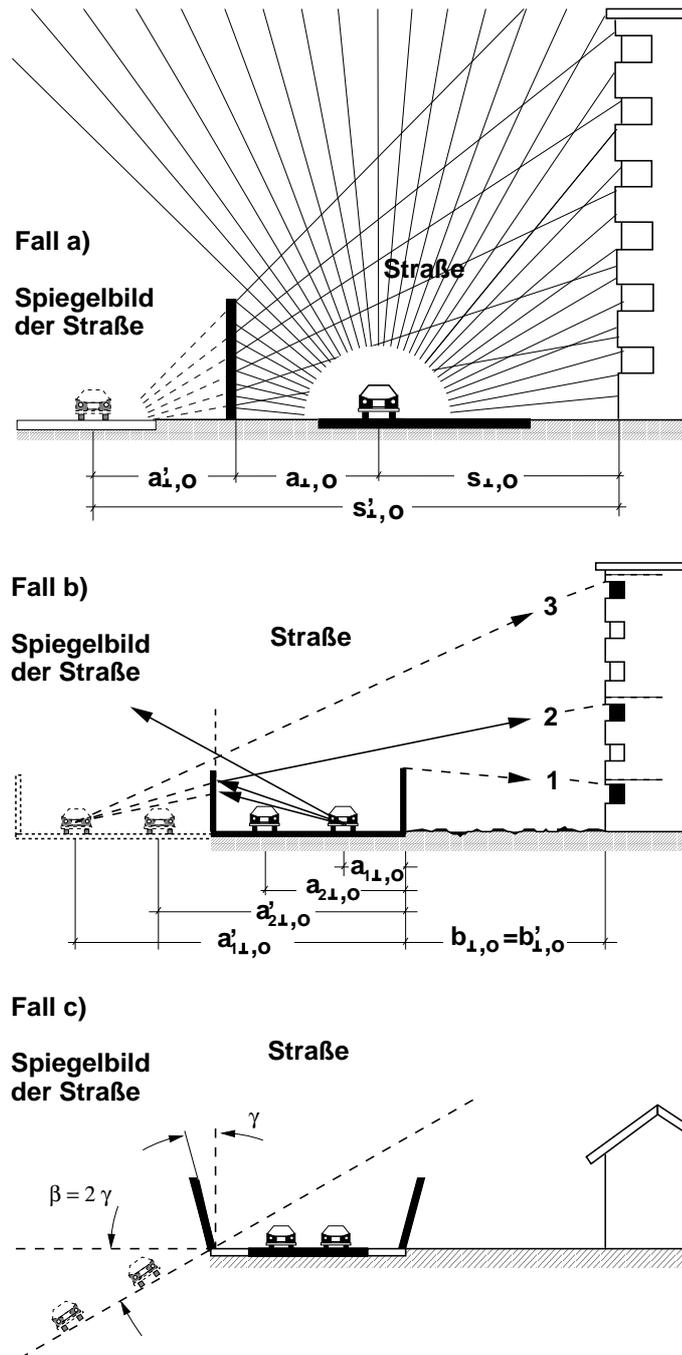
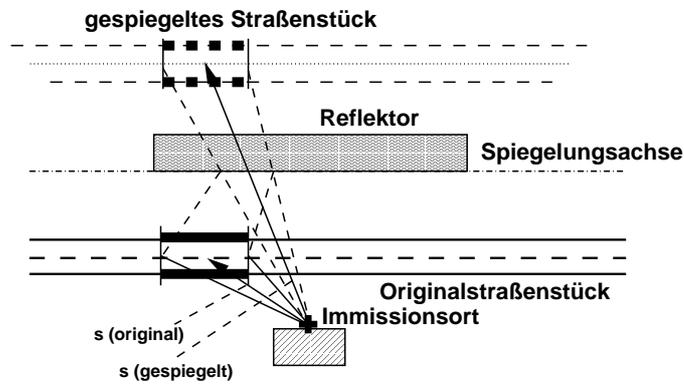


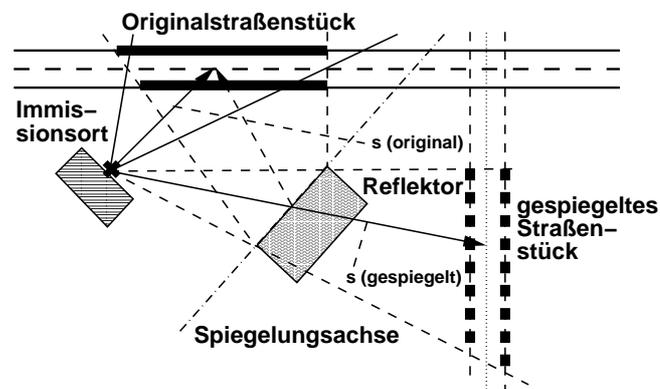
Abbildung 5: Spiegelung von Schallquellen

Bei Straßen, die zwischen parallelen Wänden verlaufen (z. B. Straßen in Troglage, Straßen zwischen Lärmschutzwänden oder Straßen zwischen Häuserfronten) wird nur die erste Reflexion durch D_E berücksichtigt, die weiteren Reflexionen durch den Zuschlag D_{refl} nach Abschnitt 3.8.

Fall a)



Fall b)



Fall c)

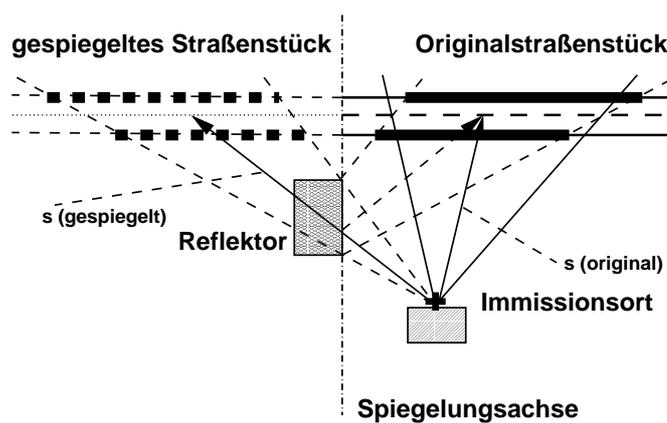


Abbildung 6: Beispiele für die Konstruktion von Spiegelschallquellen