

**Vorläufige Berechnungsmethode für den
Umgebungslärm an Schienenwegen**

VBUSch

10. Mai 2006

Inhalt

1	Anwendungsbereich und Zielsetzung	4
2	Abkürzungen; Maßeinheiten.....	6
3	Begriffe, Festlegungen	8
4	Ausgangsdaten	10
5	Berechnung des Emissionspegels	11
5.1	Einfluss der Fahrzeugarten	12
5.2	Einfluss der Bremsbauart	12
5.3	Einfluss der Zuglängen.....	12
5.4	Einfluss der Geschwindigkeit.....	13
5.5	Einfluss der Aerodynamik.....	13
5.6	Einfluss der Fahrbahnarten	13
5.7	Einfluss der Brücken.....	14
5.8	Einfluss der Bahnübergänge	14
5.9	Einfluss der Kurven	14
6	Berechnung des Mittelungspegels	15
7	Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg	19
7.1	Abschirmung.....	19
7.2	Abschirmwirkung bei Mehrfachbeugung	20
7.3	Strecken in Dammlage	21
7.4	Einschnitte	21
7.5	Gebäude.....	21
7.6	Gehölz	22
7.7	Reflexionen.....	22
8	Personenbahnhöfe	24
9	Quellenverzeichnis	25

1 Anwendungsbereich und Zielsetzung

Mit der „Vorläufigen Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch)“ können die Lärmindizes L_{DEN} (Tag-Abend-Nacht-Lärmindex) und L_{Night} (Nacht-Lärmindex) der Vierunddreißigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung - 34. BImSchV) /1/ für den Schienenverkehr berechnet werden, die für die Kartierung von Umgebungslärm nach § 47c des Bundes-Immissionsschutzgesetzes /2/ benötigt werden.

Die VBUSch gilt nicht für Schallberechnungen nach der Sechzehnten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung – 16. BImSchV) /3/.

Die VBUSch ist angelehnt an die „Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen – Schall 03“, Ausgabe 1990 /4/, wurde jedoch an die Erfordernisse der Anhänge I und II der Richtlinie 2002/49/EG /5/ 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.

Weitere Anpassungen an die Erfordernisse der Richtlinie sind im Einzelnen:

- Aerodynamische Geräusche schnell fahrender Hochgeschwindigkeitszüge werden durch eine hoch liegende Schallquelle nach /6/ berücksichtigt.
- Schwellengleise in Schotterbett (Beton- und Holzschwellen) werden einheitlich berechnet. Der Korrekturwert D_{Fb} für den Einfluss der Fahrbahnarten beträgt hierfür + 2 dB(A).
- Die Anwendung des Schienenbonus entfällt, da es sich bei den Lärmindizes entsprechend Anhang I der Richtlinie 2002/49/EG /5/ um A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel L_{eq} gemäß ISO 1996 - 2 /7/ handelt und insofern Beurteilungszu- oder -abschläge für die Lästigkeit von Geräuschen nicht berücksichtigt werden können.
- Als Verfahren zur Berücksichtigung der Abschirmwirkung durch Bebauung wird das Verfahren für lange geschlossene Häuserzeilen verwandt, da die flächenhafte Berechnung der Schallimmissionen die Berücksichtigung mehrerer Gebäudereihen erfordert.
- Einfache Reflexionen an Hausfassaden oder anderen Flächen werden berücksichtigt.

- Auf die Darstellung des Verfahrens der langen geraden Strecke wird verzichtet, weil schalltechnische Berechnungen heute nahezu vollständig unter Verwendung von Computerprogrammen erfolgen, die generell nach dem Teilstreckenverfahren arbeiten.
- Hinweise auf Planungen wie z. B. Neu- und Ausbaustrecken sind in der VBUSch nicht enthalten, da lediglich real vorhandene Strecken mit den zum Zeitpunkt der Kartierung vorhandenen Betriebsprogrammen entsprechend § 47c BImSchG /2/ erfasst werden.

Die VBUSch ist bis zur verbindlichen Einführung eines harmonisierten Berechnungsverfahrens gemäß Artikel 5, Absatz 1, Satz 2 der Richtlinie 2002/49/EG /5/ anzuwenden.

ANMERKUNG 1: Die angegebenen Gleichungen dieser Vorschrift sind Zahlenwertgleichungen. Die Maßeinheiten sind Tabelle 1 zu entnehmen. Die errechneten Mittelungspegel und Lärmindizes L_{DEN} und L_{Night} sind auf eine Nachkommastelle zu runden.

ANMERKUNG 2: Die vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Schienenwegen (VBUSch) berücksichtigt die meteorologische Dämpfung im langjährigen Mittel in Deutschland.

2 Abkürzungen; Maßeinheiten

Tabelle 1: Erläuterung der Abkürzungen und Symbole

Zeichen/ Begriff	Einheit / INDEX	Bedeutung	Verwendet in Gleichung
a_A	m	Abstand Hindernisoberkante-Immissionsort	(19), (20), (20a), (21)
a_B	m	Abstand zwischen zwei Hinderniskanten	(21)
a_Q	m	Abstand Emissionsort-Hindernisoberkante	(19), (20), (20a), (21)
a_R	m	Abstand Emissionsort-Reflektor	
Bf	-	Bahnhof	
C_0	-	Konstante zur Berechnung der Meteorologiedämpfung	(16)
D	dB	Pegeldifferenz ($D = \Delta L$)	
D_{Ae}	dB	“ durch Aerodynamik	(3), (7)
D_{Br}	dB	“ durch Brücken	(2)
D_{BM}	dB	“ durch Boden- und Meteorologiedämpfung	(9), (10), (14), (18)
$D_{Bü}$	dB	“ durch Bahnübergänge	(2)
D_D	dB	“ durch unterschiedliche Bremsbauarten	(2), (4)
D_e	dB	“ durch Schallschirme	(18)
D_{Fz}	dB	“ durch unterschiedliche Fahrzeugarten	(2)
D_{Fb}	dB	“ durch unterschiedliche Fahrbahnen	(2)
D_G	dB	“ durch Gehölz	(22)
D_I	dB	“ durch Richtwirkung (Directivity Index)	(9), (10), (11)
D_{Korr}	dB	Summe der Pegeldifferenzen gem. Kap. 7	(9), (10)
D_L	dB	Pegeldifferenz durch Luftabsorption	(9), (10), (13)
D_l	dB	“ durch unterschiedliche Zuglängen	(2), (3), (5)
D_{Met}	dB	“ durch Meteorologie	(9), (10), (15), (16)
D_{Ra}	dB	“ durch Gleisbögen mit engen Radien	(2)
$D_{R,1}$	dB	“ durch Einfachreflexion (Kap. 7.7)	
$D_{R,2}$	dB	“ durch Mehrfachreflexion (Kap. 7.7)	(23)
D_s	dB	“ durch Abstand	(9), (10), (12)
D_v	dB	“ durch unterschiedliche Geschwindigkeit	(2), (6)
d_p	m	der Abstand des Immissionsortes vom Mittelpunkt des Teilstücks, projiziert auf die horizontale Bodenebene	(15), (16)
δ	Grad	Winkel am Emissionsort zwischen s_k und der Gleis- bzw. Bereichsachse	(11)
EO	-	Emissionsort	
H	m	Höhe des Immissionsortes	(15), (16)
h	m	Mittlere Gebäudehöhe	(23)

Tabelle 1: (Fortsetzung) Erläuterung der Abkürzungen und Symbole

Zeichen/ Begriff	Einheit / INDEX	Bedeutung	Verwendet in Gleichung
h_m	m	Mittlere Höhe der Verbindungslinie Emissionsort – Immissionsort über Gelände	(14)
h_R	m	Höhe des Reflektors	
h_S	m	Höhe der Quelle über Gelände	(15), (16)
ICE	-	Intercity-Express (Triebzug)	
IO	-	Immissionsort, Ermittlungspunkt	
j	INDEX	Zähler für Gleise oder Bereiche	
k	INDEX	Zähler für Teilstücke	
K_W	dB	Witterungskorrektur	(18), (20), (20a)
L_{Day}	dB	Mittelungspegel Tag (6 – 18 Uhr)	(1)
L_{Evening}	dB	Mittelungspegel Abend (18 – 22 Uhr)	(1)
L_{Night}	dB	Mittelungspegel Nacht (22 – 6 Uhr)/Nacht-Lärmindex	(1)
L_{DEN}	dB	Tag-Abend-Nacht-Lärmindex	(1)
$L_{m,E}$	dB	Emissionspegel 25 m seitlich der Gleis-, Teilstück- bzw. Bereichsachse	(2), (3)
$L_{m,E,RS}$	dB	Emissionspegel aufgrund des Rad-Schiene-Geräusches	(2), (9)
$L_{m,E,Ae}$	dB	Emissionspegel aufgrund aerodynamischer Geräusche	(3), (10)
$L_{eq,Ges}$	dB	Gesamtmittelungspegel am Immissionsort	(17)
$L_{eq,RS}$	dB	Mittelungspegel am Immissionsort aufgrund des Rad-Schiene-Geräusches	(9)
$L_{eq,Ae}$	dB	Mittelungspegel am Immissionsort aufgrund aerodynamischer Geräusche	(10)
l_i	m	Summe der Länge der Züge der Klasse i je Stunde (Mittelwert über Tag, Abend oder Nacht)	(5)
l_k	m	Teilstücklänge	(8), (9), (10)
n_i	-	Mittlere Anzahl der Züge einer Zugklasse i/Std.	
p	%	Längenanteil schiebengebremsster Fahrzeuge am Zug einschl. Lok	(4)
SO	-	Schienenoberkante	
s_0	m	horizontaler Abstand des Immissionsortes von der Gleisachse j bzw. Bereichsachse j	
$s_{\perp j}$	m	kürzester Abstand des Immissionsortes von der Gleisachse j bzw. von der Bereichsachse j	
s_k	m	Abstand des Immissionsortes vom Mittelpunkt einer Teilstrecke k	(8), (12), (13), (14), (19), (20), (20a), (21)
s_G	m	Summe der Weglängen des gekrümmten Schallstrahles mit $r = 5$ km durch Gehölz	(22)
v	km/h	Fahrgeschwindigkeit	(6), (7)
w	m	mittlerer Abstand zwischen den Häuserzeilen bzw. Stützmauern	(23)
z	m	Schirmwert	(18), (19), (20), (20a), (21)

3 Begriffe, Festlegungen

Lärmindizes

Lärmindizes sind der Tag-Abend-Nacht-Lärmindex (Day-Evening-Night) L_{DEN} und der Nacht-Lärmindex L_{Night} . Sie werden bestimmt aus den relevanten Emissionspegeln, den Pegeldifferenzen auf den jeweiligen Ausbreitungswegen und der Korrektur für die unterschiedliche tageszeitliche Störwirkung.

Der Tag-Abend-Nacht-Lärmindex L_{DEN} ist wie folgt definiert:

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

Hierbei gilt:

- L_{Day} ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2 /7/, wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen an allen Kalendertagen am Tag erfolgen,
- $L_{Evening}$ ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2 /7/, wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen an allen Kalendertagen am Abend erfolgen,
- L_{Night} ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2 /7/, wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen an allen Kalendertagen in der Nacht erfolgen.

Der Nacht-Lärmindex L_{Night} ist der A-bewertete äquivalente Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2 /7/, wobei der Beurteilungszeitraum ein Jahr beträgt und die Bestimmungen an allen Kalendertagen in der Nacht erfolgen.

Ferner gilt:

- Ein Jahr ist das für die Lärmemission ausschlaggebende und ein hinsichtlich der Witterungsbedingungen durchschnittliches Jahr.
- Gemäß der Vierunddreißigsten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung - 34. BImSchV) entspricht der Tag einem Zeitraum von 12 Stunden (06.00 – 18.00 Uhr), der Abend einem Zeitraum von 4 Stunden (18.00 – 22.00 Uhr) und die Nacht einem Zeitraum von 8 Stunden (22.00 – 06.00 Uhr).

Frequenzbewertung A

Durch die Frequenzbewertung A nach DIN EN 61672-1 /8/ wird die Frequenzabhängigkeit der Empfindlichkeit des Gehörs näherungsweise berücksichtigt. Schallpegel mit dieser Frequenzbewertung werden A-bewertete Schallpegel oder auch A-Schallpegel L_A genannt. In dieser Berechnungsmethode wird immer mit A-bewerteten Schallpegeln gerechnet und deshalb der Index A bzw. der Zusatz „A-bewertet“ fortgelassen.

Mittelungspegel

Der Mittelungspegel nach DIN 45 641 /9/ dient zur Kennzeichnung der Stärke von Geräuschen mit zeitlich veränderlichen Schallpegeln. In seine Höhe gehen Stärke und Dauer jedes Schallereignisses während des Zeitraumes ein, über den gemittelt wird. Er entspricht dem A-bewerteten äquivalenten Dauerschallpegel gemäß ISO 1996-2 /7/.

Schallemission

Schallemission ist der von einer Schallquelle oder einer Ansammlung von Schallquellen (z.B. Eisenbahnstrecke) abgestrahlte Schall. Die Stärke der Schallemissionen wird durch den → Emissionspegel beschrieben.

Emissionspegel

Der Emissionspegel $L_{m,E,RS}$ bzw. $L_{m,E,Ae}$ in dB ist der → Mittelungspegel in 25 m Abstand, 3,5 m Höhe über SO von der Achse des betrachteten Gleises bei freier Schallausbreitung. Er dient als Ausgangsgröße für die Berechnung des → Mittelungspegels.

Schallimmission

Schallimmission ist der auf ein Gebiet oder einen Punkt eines Gebietes (→ Immissionsort) einwirkende Schall. Die Stärke der Schallimmission wird durch den → Mittelungspegel beschrieben.

Immissionsort (Ermittlungspunkt)

Der Immissionsort ist der Punkt in einer Höhe von $4,0 \pm 0,2$ m (3,8 - 4,2 m) über dem Boden, für den die Mittelungspegel zu berechnen sind.

4 Ausgangsdaten

Für die Berechnung sind Angaben erforderlich über:

- Fahrzeugarten (s. hierzu Kap. 5.1)
- Bremsbauarten (s. hierzu Kap. 5.2)
- Zuglängen und -zahlen (s. hierzu Kap. 5.3)
- Geschwindigkeiten (s. hierzu Kap. 5.4 und 5.5)
- Fahrbahnarten (s. hierzu Kap. 5.6)
- Brücken (s. hierzu Kap. 5.7)
- Bahnübergänge (s. hierzu Kap. 5.8)
- Gleisbögen (Kurven) (s. hierzu Kap. 5.9).

Die Angaben zu Fahrzeugarten, Zugzahlen, Zuglängen und Geschwindigkeiten (Betriebsprogramm/Fahrplan) müssen getrennt für Tag, Abend und Nacht vorliegen.

5 Berechnung des Emissionspegels

Zur Berechnung des Emissionspegels des Verkehrs auf einem Gleis oder einem Teilstück werden Züge gleicher Fahrzeugart (Kap. 5.1), mit gleichem Anteil schiebengebremsster Fahrzeuge (Kap. 5.2) und mit gleicher Geschwindigkeit (Kap. 5.4) zu Klassen i zusammengefasst. Für jedes Gleis j bzw. Teilstück k wird dann der Emissionspegel $L_{m,E}$ nach (2) und (3) berechnet.

$$L_{m,E,RS} = 10 \lg \left[\sum_i 10^{0,1(51+D_{Fz}+D_D+D_l+D_v)} \right] + D_{Fb} + D_{Br} + D_{Bü} + D_{Ra} \quad (2)$$

$$L_{m,E,Ae} = 10 \lg \left[\sum_i 10^{0,1(28+D_{Ae}+D_l)} \right] \quad (3)$$

Darin sind:

$L_{m,E,RS}$ Emissionspegel aufgrund des Rad-Schiene-Geräusches in Höhe von SO

$L_{m,E,Ae}$ Emissionspegel aufgrund des aerodynamischen Geräusches in Höhe von 4,5 m über SO für Geschwindigkeiten > 200 km/h

$D_{Fz}, D_D, D_l, D_v, D_{Ae}$ Pegeldifferenzen nach Kap. 5.1 bis 5.5

$D_{Fb}, D_{Br}, D_{Bü}, D_{Ra}$ Pegeldifferenzen nach Kap. 5.6 bis 5.9.

Die Berechnung erfolgt getrennt für Tag, Abend und Nacht.

ANMERKUNG: D_{Fz} und D_D sind stets getrennt zu ermitteln und in (2) einzusetzen. Fahrzeuge der Baureihe 401 und 402 (ICE) werden von schiebengebremssten Triebköpfen angetrieben, die nicht Lokomotiven im Sinne dieser Richtlinie sind.

5.1 Einfluss der Fahrzeugarten

Durch D_{Fz} wird in (2) der Einfluss der Fahrzeugarten berücksichtigt. Werte sind Tabelle 2 zu entnehmen:

Tabelle 2: Einfluss der Fahrzeugart

Spalte	A	B
Zeile	Fahrzeugart	D_{Fz} *)
1	Fahrzeugart mit zulässigen Geschwindigkeiten $v > 100$ km/h mit <u>Radabsorbern</u> (Baureihe 401, 402)	- 3
2	Fahrzeuge mit <u>Radscheibenbremsen</u> (Baureihen 403, 420, 472)	- 2
3	Fahrzeuge mit <u>Radscheibenbremsen</u> (Bx-Wagen unter Einbeziehung der Lok)	- 1
4	U - Bahn	2
5	Straßenbahn	3
6	alle übrigen Fahrzeugarten	0

*) Für Fahrzeugarten, bei denen aufgrund besonderer Vorkehrungen eine weitergehende, dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, können die der Lärminderung entsprechenden Korrekturwerte zusätzlich zu den Korrekturwerten D_{Fz} berücksichtigt werden.

5.2 Einfluss der Bremsbauart

Durch D_D wird in (2) der Einfluss der Bremsbauarten berücksichtigt:

$$D_D = 10 \lg(5 - 0,04 p) \quad (4)$$

Dabei ist p der prozentuale Anteil scheidengebremsster Fahrzeuge an der Länge des Zuges einschl. Lok. Die Länge der Lok ist mit 20 m, die eines Reisezugwagens mit 26,4 m anzusetzen.

ANMERKUNG: Güterzüge werden in der Regel nur aus klotzgebremsten Fahrzeugen gebildet.

5.3 Einfluss der Zuglängen

Durch D_l wird in (2) und (3) der Einfluss der Anzahl und Längen der Züge berücksichtigt:

$$D_l = 10 \lg(0,01 l) \quad (5)$$

Dabei ist l die Summe der Längen aller Züge der Zugklassen i pro Stunde.

ANMERKUNG: Die Längen von Zügen gleicher Fahrzeugart gemäß Tabelle 2, gleichen Scheibenbremsanteils p und gleicher Geschwindigkeit v können bei der Berechnung der Zuglänge durch Addition der Einzellängen zusammengefasst werden.

5.4 Einfluss der Geschwindigkeit

Durch D_v wird in (2) der Einfluss der Geschwindigkeit berücksichtigt:

$$D_v = 20 \lg(0,01 v) \quad (6)$$

Dabei ist v die zulässige Streckengeschwindigkeit bzw. für Züge, die diese Geschwindigkeit nicht fahren dürfen, die jeweilige zulässige Fahrgeschwindigkeit.

5.5 Einfluss der Aerodynamik

Durch D_{Ae} wird in (3) der Einfluss der Aerodynamik berücksichtigt:

$$D_{Ae} = 50 \lg(0,01 v) \quad (7)$$

Dabei ist v die zulässige Streckengeschwindigkeit bzw. für Züge, die diese Geschwindigkeit nicht fahren dürfen, die jeweilige zulässige Fahrgeschwindigkeit.

Der Einfluss der Aerodynamik ist erst bei $v > 200$ km/h anzusetzen.

5.6 Einfluss der Fahrbahnarten

Durch D_{Fb} wird in (2) der Einfluss der Fahrbahnarten mit durchschnittlichem Zustand der Schienenfahrfläche berücksichtigt. Die Werte sind der Tabelle 3 zu entnehmen:

Tabelle 3: Einfluss der Fahrbahnarten

Spalte	A	B
Zeile	Fahrbahnart	D_{Fb} *)
1	Gleiskörper mit Raseneindeckung - Straßenbahn	-2
2	Schotterbett - Holzschwelle	2
3	Schotterbett - Betonschwelle	2
4	Feste Fahrbahn - nicht absorbierend	5

*) Für Fahrbahnen, bei denen aufgrund besonderer Vorkehrungen eine weitergehende, dauerhafte Lärminderung nachgewiesen ist, können die der Lärminderung entsprechenden Korrekturwerte zusätzlich zu den Korrekturwerten D_{Fb} berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1: Für im Rahmen der Lärmvorsorge planfestgestelltes Besonders überwachtetes Gleis (BüG) sind die anzusetzenden Korrekturwerte D_{Fb} den jeweiligen Planfeststellungsbeschlüssen zu entnehmen.

ANMERKUNG 2: Unter „Besonders überwachten Gleisen“ (BüG) wird verstanden, dass diese Gleise in regelmäßigen Abständen auf evtl. Schallpegelzunahme überprüft und ggf. geschliffen werden.

5.7 Einfluss der Brücken

Der Einfluss von Brücken wird durch einen Zuschlag in (2) von $D_{Br} = 3$ dB für die Gleise auf der Brücke berücksichtigt.

5.8 Einfluss der Bahnübergänge

Im Bereich von Bahnübergängen ist für eine Teilstücklänge gleich der zweifachen Straßenbreite in (2) $D_{Bü} = 5$ dB zu setzen. Andere Korrekturen D_{Fb} sowie Korrekturen für „Besonders überwachtes Gleis“ (BüG) sind dann nicht mehr anzuwenden.

ANMERKUNG: Für Immissionsorte, deren Abstand s_j bzw. s_k größer als das Zehnfache der Straßenbreite sind, kann der Einfluss der zusätzlichen Schallabstrahlung des Bahnüberganges vernachlässigt werden.

5.9 Einfluss der Kurven

Treten beim Befahren enger Kurvenradien Quietschgeräusche auf, so sind - soweit sie nicht durch technische Maßnahmen ausgeschlossen werden können - folgende Korrekturwerte D_{Ra} für den gesamten Kurvenabschnitt nach Tabelle 4 in Ansatz zu bringen.

Tabelle 4: Einfluss der Kurven

Spalte	A	B
Zeile	Kurvenradius	D_{Ra}
1	< 300m	8
2	von 300 m bis < 500 m	3
3	≥ 500 m	0

6 Berechnung des Mittelungspegels

Zur Berechnung des Mittelungspegels werden die Gleise bzw. Bereiche in Teilstücke k zerlegt. Die Teilstücklänge l_k ist gemäß (8) zu wählen:

$$0,01 s_k \leq l_k \leq 0,5 s_k \quad (8)$$

Darin ist

s_k der Abstand des Immissionsortes vom Mittelpunkt der Teilstrecke k .

ANMERKUNG: Es ist nicht erforderlich, l_k kleiner als $0,01 \cdot s_k$ zu wählen, weil die Genauigkeit dadurch nicht mehr verbessert wird. Die Beiträge von Teilstücken mit $s_k > 5000$ m können vernachlässigt werden.

Emissionsort ist der Mittelpunkt des jeweiligen Teilstücks. Für $L_{m,E,RS}$ liegt der Emissionsort auf Schienenoberkante (SO), für $L_{m,E,Ae}$ in Höhe von 4,5 m über SO.

Über die Länge der Teilstücke müssen $L_{m,E,RS,k}$, $L_{m,E,Ae,k}$ und die einzelnen Einflussgrößen nach Kap. 7 annähernd konstant sein.

Für die Ausarbeitung von Lärmkarten schreibt die Richtlinie 2002/49/EG /5/ eine Höhe des Ermittlungspunktes (Immissionsort) von $4,0 \pm 0,2$ m über dem Boden vor. Da die Lärmindizes aus den Mittelungspegeln nach (1) berechnet werden, gilt diese Höhenangabe für die Mittelungspegel ebenfalls.

Für jedes Teilstück k ist $L_{eq,RS,k}$ und $L_{eq,Ae,k}$ zu berechnen:

$$L_{eq,RS,k} = L_{m,E,RS,k} + 19,2 + 10 \lg l_k + D_{I,k} + D_{s,k} + D_{L,k} + D_{BM,k} - D_{met} + D_{Korr,k} \quad (9)$$

$$L_{eq,Ae,k} = L_{m,E,Ae,k} + 19,2 + 10 \lg l_k + D_{I,k} + D_{s,k} + D_{L,k} + D_{BM,k} - D_{met} + D_{Korr,k} \quad (10)$$

Darin sind

$L_{m,E,RS,k}$ der Emissionspegel aufgrund des Rad-Schiene-Geräusches nach (2),

$L_{m,E,Ae,k}$ der Emissionspegel aufgrund des aerodynamischen Geräusches nach (3),

l_k die Teilstücklänge,

$$D_{I,k} = 10 \lg (0,22 + 1,27 \sin^2 \delta_k) \quad (11)$$

die Pegeldifferenz durch Richtwirkung,

δ_k der Winkel am Emissionsort zwischen s_k und der Gleisachse

(s. Bild 1),

$$D_{s,k} = 10 \lg \frac{1}{2\pi s_k^2} \quad (12)$$

die Pegeldifferenz durch Abstand,

s_k der Abstand des Immissionsortes vom Mittelpunkt des Teilstücks,

$$D_{L,k} = -\frac{s_k}{200} \quad (13)$$

die Pegeldifferenz durch Luftabsorption,

$$D_{BM,k} = \frac{h_m}{s_k} \left(34 + \frac{600}{s_k} \right) - 4,8 \leq 0 \quad (14)$$

die Pegeldifferenz durch Boden- und Meteorologiedämpfung,

h_m die mittlere Höhe der Verbindungslinie Emissionsort-Immissionsort
über Gelände und für jedes Teilstück zu verwenden,

$$D_{met} = 0 \quad \text{für } d_p \leq 10 (h_s + H) \quad (15)$$

$$D_{met} = C_0 \left(1 - 10 (h_s + H) / d_p \right) \quad \text{für } d_p > 10 (h_s + H) \quad (16)$$

die Pegeldifferenz durch den Einfluss der Witterungsbedingungen,

$C_0 = 2$ für den Tag, $C_0 = 1$ für den Abend, $C_0 = 0$ für die Nacht,

h_s = die Höhe des Emissionsortes über Gelände,

H = die Höhe des Immissionsortes (4 m über Gelände),

d_p = der Abstand des Immissionsortes vom Mittelpunkt des Teilstücks, projiziert auf die horizontale Bodenebene (s. Bild 1),

$D_{korrek,k}$ die Summe der nach Kap. 7 „Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg“ anzusetzenden Pegeldifferenzen.

ANMERKUNG 1: Die Formeln für Ausbreitung und Abschirmung sind an VDI 2714 /10/ und VDI 2720 /11/ angelehnt.

ANMERKUNG 2: Die ersten 3 Terme der Gl. (9) und (10) können als Schalleistungspegel der Teilstrecke k (Punktschallquelle) interpretiert werden.

ANMERKUNG 3: Die Schienenoberkante ist wegen des 0,5 m hohen Schotterbettes 0,6 m über Gelände anzunehmen.

ANMERKUNG 4: Die zweite Schallquellhöhe von $h = 4,5$ m über SO für aerodynamische Geräusche ist bei Geschwindigkeiten $V > 200$ km/h anzusetzen. Die in den Bildern 1 bis 7 dargestellten geometrischen Parameter sind dann entsprechend auch für die 2. Quellhöhe anzuwenden.

ANMERKUNG 5: δ_k ist als räumlicher Winkel zwischen Gleisachse und s_k anzusetzen (s. Bild 1). Bei Kurven ist der Winkel δ auf die Tangente an die Gleisachse im Emissionsort zu beziehen. Im nahezu ebenen Gelände ist es ausreichend, h_m als arithmetischen Mittelwert der Höhen des Emissionsortes und des Immissionsortes über Gelände zu bestimmen.

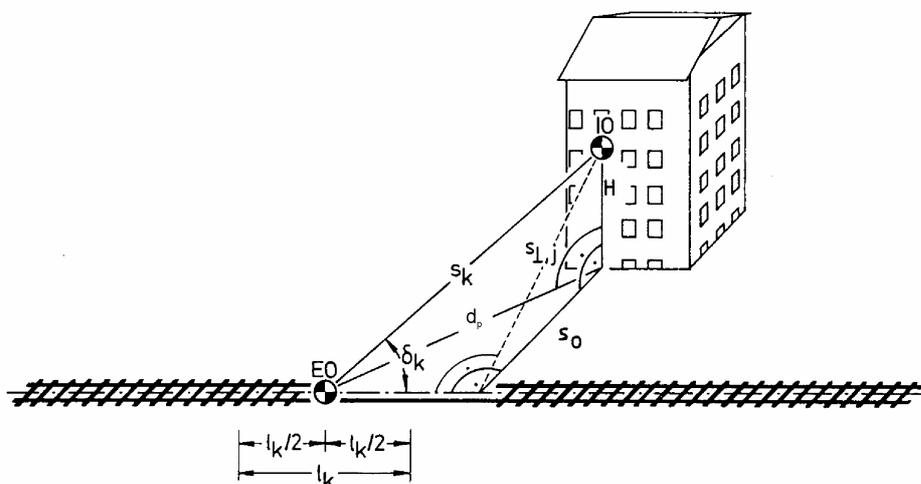


Bild 1: Zur Definition des Winkels δ_k

Der Gesamtmittelungspegel an einem Immissionsort ergibt sich aus den Mittelungspegeln $L_{eq,RS,k}$ und $L_{eq,Ae,k}$ aller Teilstücke und Bereiche k durch energetische Addition nach (17):

$$L_{eq,ges} = 10 \lg \left(\sum_k 10^{0,1 L_{eq,RS,k}} + \sum_k 10^{0,1 L_{eq,Ae,k}} \right). \quad (17)$$

ANMERKUNG: Die Berechnung von $L_{eq,ges}$ erfolgt getrennt für Tag, Abend und Nacht.

7 Einflüsse auf dem Ausbreitungsweg

Die Summe der nach Kap. 7.1 bis 7.7 berechneten $D_e, D_B, D_G, D_{R,1}$ und $D_{R,2}$, ist als $D_{Korr,k}$ in (9) und (10) einzusetzen.

7.1 Abschirmung

Die Pegeldifferenz $D_{e,k}$ einer Abschirmung ist für jedes Teilstück k nach (18) zu berechnen:

$$D_{e,k} = - \left(10 \lg \left(3 + 60 z_k K_{W,k} \right) + D_{BM,k} \right) \leq 0 \quad (18)$$

mit $z_k > -0,033$.

Darin sind

$D_{BM,k}$ die Pegelminderung durch Boden- und Meteorologiedämpfung nach (14),

$$z_k = a_{Q,k} + a_{A,k} - s_k \quad (19)$$

der Schirmwert, d. h. der Umweg über das Hindernis (s. Bild 2)

mit

$a_{Q,k}$ Abstand Emissionsort - Hindernisoberkante,

$a_{A,k}$ Abstand Hindernisoberkante - Immissionsort,

s_k Abstand Emissionsort - Immissionsort.

Wenn das Hindernis die Sichtverbindungsline zwischen Emissionsort und Immissionsort nicht überragt, ist z mit negativem Vorzeichen zu versehen;

$K_{W,k}$ Witterungskorrektur nach (20)

$$K_{w,k} = 10^{-\frac{1}{2,3 \cdot 2000} \sqrt{\frac{a_{Q,k} a_{A,k} s_k}{2 z_k}}} \quad (20)$$

Für $z < 0$ ist $K_w = 1$ zu setzen.

ANMERKUNG: $K_{w,k}$ kann auch auf der Basis der natürlichen Zahl e berechnet werden:

$$K_{w,k} = e^{-\frac{1}{2000} \sqrt{\frac{a_{Q,k} a_{A,k} s_k}{2 z_k}}} \quad (20 a)$$

Geht die direkte Verbindungslinie Emissionsort - Immissionsort nicht durch das Hindernis hindurch, kann trotzdem ein Schirmwert z bestimmt werden. Der Zahlenwert ist dann mit dem Vorzeichen „Minus“ zu versehen. Schirmwerte z bis $-0,033$ ergeben noch eine Pegelminderung durch das Hindernis.

ANMERKUNG 1: Für die Wirkung von Abschirmungen ist der Umweg über das Hindernis gegenüber der direkten Verbindungslinie Emissionsort - Immissionsort maßgebend. Die Differenz beider wird Schirmwert genannt und errechnet sich nach (19).

ANMERKUNG 2: Sind keine Abschirmungen vorhanden, ist $D_e = 0$ zu setzen.

ANMERKUNG 3: Bei Brücken ist zu beachten, dass die von der Brückenkonstruktion selbst stammende Abstrahlung durch eine Schallschutzwand über SO nicht verringert wird.

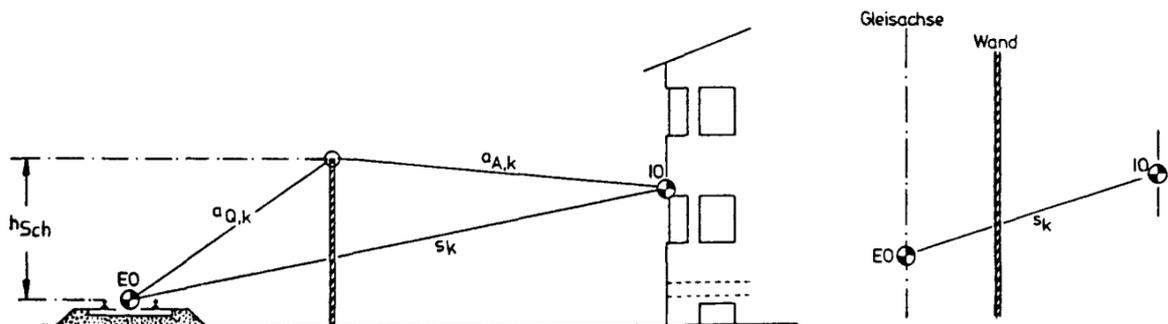


Bild 2: Größen zur Berechnung des Schirmwertes an einer Schallschutzwand

7.2 Abschirmwirkung bei Mehrfachbeugung

Bei Gebäuden, Schallschutzwällen und Dämmen wird der Schirmwert nach (21) berechnet:

$$z_k = a_{Q,k} + a_{A,k} + a_{B,k} - s_k \quad (21)$$

$a_{B,k}$ ist der Abstand zwischen den beeinflussenden Hinderniskanten (s. auch Bild 3). Für die Berechnung der Witterungskorrektur K_W nach (20) wird $a_{B,k}$ zum größeren der beiden Abstände $a_{Q,k}$ bzw. $a_{A,k}$ addiert. Die Pegeldifferenz $D_{e,k}$ wird nach (18) berechnet.

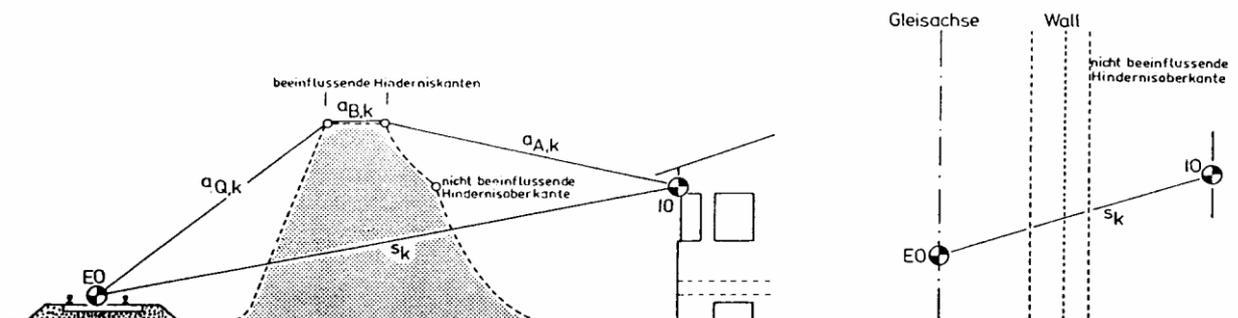


Bild 3: Größen zur Berechnung des Schirmwertes an einem Schallschutzwall

7.3 Strecken in Dammlage

Bei Strecken auf Dämmen ist für Immissionsorte, die tiefer liegen als SO, ggf. die pegelmindernde Wirkung der Dammkante nach Kap. 7.1 zu berücksichtigen (s. Bild 4).

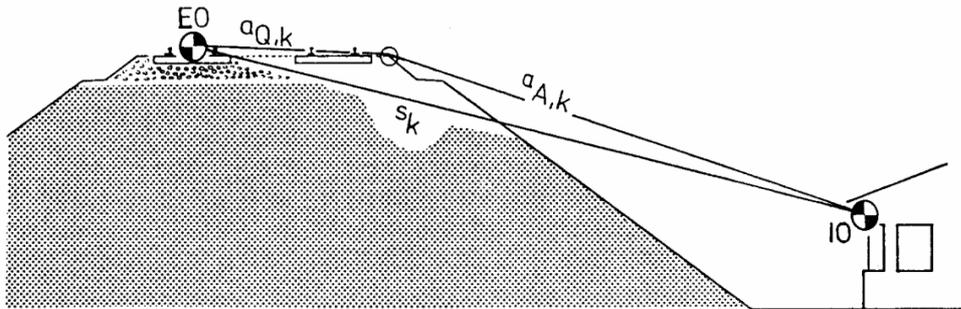


Bild 4: Größen zur Berechnung des Schirmwertes an einem Damm

7.4 Einschnitte

Für Einschnitte ist $D_{e,k}$ nach Kap. 7.1 zu berechnen (s. Bild 5).

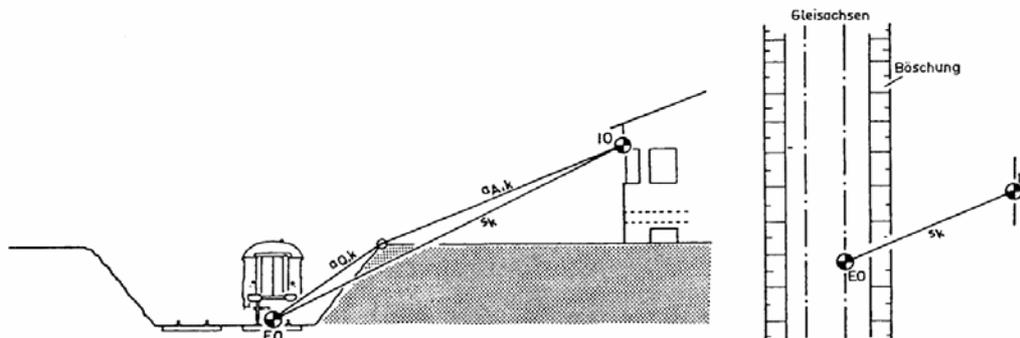


Bild 5: Größen zur Berechnung des Schirmwertes an einer geneigten Böschung

7.5 Gebäude

Die Abschirmung durch Gebäude wird nach Abschnitt 7.2 berechnet (s. Bild 6). Zur möglichen Pegelerhöhung auf der gegenüberliegenden Seite durch Reflexion siehe Abschnitt 7.7.

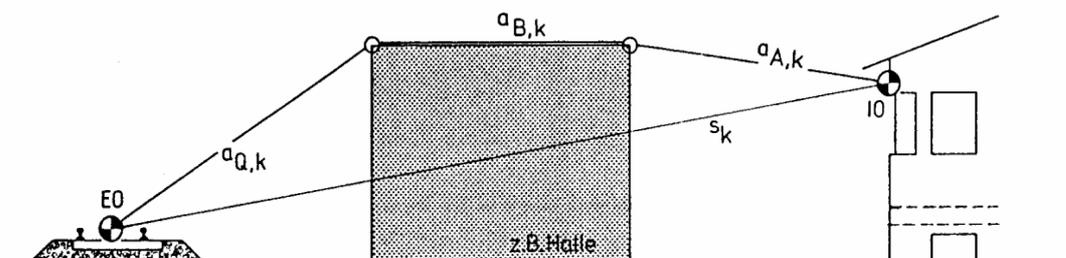


Bild 6: Größen zur Berechnung des Schirmwertes an Gebäuden

7.6 Gehölz

Die durch dichten Wald mit bleibender Unterholzausbildung verursachte Pegeldifferenz D_G kann wie folgt berücksichtigt werden:

$$D_G = -0,05 s_{G,k} \geq -5 \quad (22)$$

Darin ist $s_{G,k}$ die Projektion in die Horizontalebene derjenigen Weglängen, die der gekrümmte Schallstrahl mit $r = 5 \text{ km}$ auf dem Weg Emissionsort - Immissionsort durch Gehölz zurücklegt (s. Bild 7).

ANMERKUNG: Spürbare Pegelminderungen werden meist erst bei längeren Schallausbreitungswegen durch Gehölz erreicht. Angaben in der Literatur über die Wirkung verschiedener Gehölzarten und -anordnungen streuen stark. Die Pegelminderung durch Bodenabsorption bei Schallausbreitung über niedrig bewachsenen Bodenflächen wird nicht berücksichtigt.

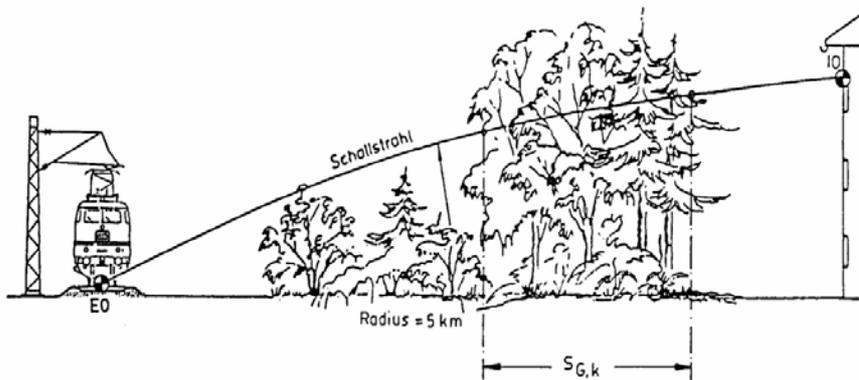


Bild 7: Schallausbreitung durch Gehölz

7.7 Reflexionen

Durch einfache Reflexionen an nicht schallabsorbierenden Stützmauern, Hausfassaden oder anderen Flächen kann der Beurteilungspegel auf der gegenüberliegenden Seite erhöht werden. Reflexionen an nicht schallabsorbierenden Flächen sind zu berücksichtigen, wenn die Höhe h_R der reflektierenden Fläche der Bedingung $h_R \geq 0,3 \sqrt{a_R}$ genügt, wobei a_R der Abstand zwischen Emissionsort und Reflektor ist und zwischen Reflektor und Immissionsort keine Abschirmung vorhanden ist. Zur Berücksichtigung der Reflexion wird die Schiene an der reflektierenden Fläche gespiegelt. Das Verfahren zur Berücksichtigung von Spiegelschallquellen aufgrund einfacher Reflexion ist in VDI 2714 /10/, Kapitel 7.1 beschrieben.

Die Schallemissionen $L_{m,E,RS,k}$ und $L_{m,E,Ae,k}$ der Spiegelschallquelle sind dabei gegenüber der Originalschallquelle um den Wert $D_{R,1,k}$ zu korrigieren.

Tabelle 5: Korrektur $D_{R,1}$ zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektierenden Flächen

Spalte	A	B
Zeile	Reflexionsart	$D_{R,1}$
1	Glatte Gebäudefassaden	-1
2	Gegliederte Hausfassaden	-2
3	Absorbierende Lärmschutzwände	-4
4	Hochabsorbierende Lärmschutzwände	-8

Wenn ein Teilstück zwischen beidseitigen parallelen reflektierenden Stützmauern oder weitgehend geschlossenen Häuserzeilen (Lückenanteil < 30%) verläuft, sind zusätzlich zur ersten Reflexion die Mittelungspegel $L_{eq,RS,k}$ und $L_{eq,Ae,k}$ in diesem Bereich aufgrund von Mehrfachreflexionen um den Wert $D_{R,2,k}$ zu erhöhen, der nach (23) berechnet wird:

$$D_{R,2,k} = 4 \frac{h}{w} \leq 3,2 \quad (23)$$

Darin sind

h die mittlere Gebäudehöhe

w der mittlere Abstand zwischen den Häuserzeilen bzw. Stützmauern.

Bei der Ermittlung der Mittelungspegel an einer Fassade ist nur der einfallende Schall und nicht der an dieser Fassade reflektierte Schall zu berücksichtigen

ANMERKUNG: $D_{R,2,k}$ findet hauptsächlich für den Nahverkehr in Stadtstraßen Anwendung.

8 Personenbahnhöfe

Die Emissionspegel von Zug- und Rangierfahrten in Personenbahnhöfen werden vereinfachend nach Kap. 5 wie für die freie Strecke berechnet. Abschirmungen durch Bahnsteigkanten u. ä. sind nicht zu berücksichtigen; ebenso nicht die Emissionen von Karrenfahrten, Lautsprecheransagen u. ä.

Dabei ist anzusetzen

- die außerhalb des Personenbahnhofs zulässige Streckengeschwindigkeit bzw. für Züge, die diese nicht fahren dürfen, die jeweilige zulässige Fahrgeschwindigkeit,
- bei Rangierfahrten jedoch 35 km/h.

ANMERKUNG 1: Messungen /12/ haben ergeben, dass hiernach bei kleineren Bahnhöfen, in denen die meisten Züge durchfahren, ein geringfügig zu hoher, in großen Bahnhöfen, in denen die meisten Züge halten, ein bis zu 5 dB(A) höherer Emissionspegel berechnet wird. In den gemessenen Mittelungspegeln nach /12/ sind bahnhofspezifische Geräusche, wie Türenschnallen, Karrenfahrten, Lautsprecheransagen, Anfahrgeräusche von Diesellok, Bremsgeräusche usw., ferner bahnhofspezifische Abschirmungen wie Bahnsteigkanten, Bahnsteigdächer usw. bereits enthalten.

ANMERKUNG 2: Die Fahrgeschwindigkeit bei Rangierfahrten wird zur Berücksichtigung des Anfahrpegels der Dieselmotoren und evtl. pegelerhöhender Fahrflächenfehler der in den Abstellgleisen verlegten Schienen mit 35 km/h statt mit 25 km/h angesetzt.

9 Quellenverzeichnis

- /1/ Vierunddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Lärmkartierung – 34.BImSchV), vom 6. März 2006
- /2/ Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG), Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge, September 2002 in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. Juni 2005
- /3/ Sechzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV), vom 12. Juni 1990
- /4/ INFORMATION Deutsche Bundesbahn · Bundesbahn-Zentralamt München - AKUSTIK 03, Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen, Schall03, Ausgabe 1990
- /5/ Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm (EU - Umgebungslärmrichtlinie)
- /6/ M. Klemenz und B. Barsikow: Abschirmwirkung von Schallschutzwänden bei Hochgeschwindigkeitszügen; Bericht 4, Arbeitspaket 3: Modellrechnungen und Vorschläge zur Modifikation der Schall 03. Umweltbundesamt, Forschungsvorhaben 296 55 215, Dezember 1998
- /7/ ISO 1996-2: 1998, Beuth-Verlag GmbH, 10772 Berlin
- /8/ DIN EN 61672-1:2003 Elektroakustik – Schallpegelmesser, Teil 1: Anforderungen
- /9/ DIN 45641, Bl. 1, Mittelung von Schallpegeln, Juni 1990
- /10/ VDI 2714, Schallausbreitung im Freien, Januar 1988
- /11/ VDI 2720, Bl. 1, Schallschutz durch Abschirmung im Freien, März 1997
- /12/ Studie über die Schallemissionen von Bahnhöfen im Vergleich mit der freien Strecke (Bahnhofstudie 2); Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministers für Verkehr und des Bundesbahn-Zentralamtes München, Müller-BBM GmbH, Planegg, 17.01.1986